



Tisztelt Kollégák!

GÁBOR DÉNES-DÍJAT KAPOTT A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK JELÖLTJE, GILI LÁSZLÓ VILLAMOSMÉRNÖK



December 17-én délelőtt a Parlament zsúfolásig megtelt felsőházi üléstermében adták át ünnepélyes keretek között a 2009. évi Gábor Dénes-díjakat. A megjelentek között ezúttal sok ismerős arcot fedezhettünk fel, Egyesületünk tagsága szép számban volt jelen a kivételes eseményen. Nem véletlenül, hiszen tagtársunk, Gili László, akit Egyesületünk jelölt erre a rangos elismerésre, a NOVOFER Alapítvány Kuratóriumának döntése alapján Gábor Dénes-díjban részesült.

A rangos díj az innovációban kiemelkedő eredményt elérő szakemberek fokozott erkölcsi elismerését szolgálja. Hogy mivel érdemelte ki kollégánk a díjra történő jelölést, azt talán a jelölés részét képező egyesületi ajánlás szövege mutatja be a legjobban:

Gili László villamosmérnök, a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tudományos munkatársa közel 30 éves intézeti munkája során geofizikai műszerek fejlesztésével foglalkozott. Az Eötvös Loránd számára alapított és 2007-ben 100 éves Intézetben, Eötvös iránymutatásának megfelelően az elméleti és alkalmazott kutatások mindig is szorosan kapcsolódtak, így Gili László munkáját is szorosan jellemezte a geofizikai mérési módszer- és műszerfejlesztés. Az elméletileg kidolgozott mérési módszerekhez műszereket fejlesztett, hogy az elméleti lehetőségekből tényleges gyakorlat válhasson – és fordítva –, sok esetben a fejlesztései teremtetek olyan új mérési lehetőségeket, amelyek az elméleti kutatás számára kínáltak újabb továbblépést. Gili László korábbi munkásságának legjelentősebb eredménye egy mér-

nökszeizmikus műszercsalád, ezek közül is kiemelkedik az ESS 01-24 típus. Ebből a műszerből négy kontinens 17 országában 136 db került eladásra (megjegyezzük, hogy ez az eladási szám ebben a műszerkategóriában kiugró volt, mely messze megelőzte a világ más fejlesztőműhelyeinek eredményeit). Később kifejlesztette az említett műszerek bányabeli, illetve tengeri mérésekre alkalmas változatát is. Eszközeit folyamatosan korszerűsítette. Megbecsülni is nehéz az ezekkel a műszerekkel megoldott földtani–geofizikai feladatok számát.



Gili László villamosmérnök, 2009. évi Gábor Dénes-díjas

Az ezredfordulót követő évek során Közép-Európában nagy nemzetközi geofizikai projektek indultak, melyeknek a kutatási területe a Balti-tengertől az Adriáig fedte a kontinenst. Ezek alapvetően új, minden korábbtól eltérő jellegű és felépítésű műszerezettséget kívántak. Ezt eleinte az Amerikai Egyesült Államok és Kanada műszerbázisai biztosították a résztvevő országok számára, a későbbiek során azonban már csak a saját eszközökkel rendelkezők folytathatták a munkát. A kutatások jelenlegi, hazai támogatottsága mellett a magyar geofizika számára a szükséges műszerpark beszerzése nem jöhetett szóba. Ebben a helyzetben Gili László az elmúlt öt évben kifejlesztett és gyártásba vitt egy teljesen új elvekre épülő, speciális szeizmikus adatgyűjtő műszert, amely – bár elsősorban az említett szeizmológiai projektek méréseit kívánta szolgálni – a szeizmikus kutatások más területein is, beleértve ebbe még az ipari kutatásokat is, szinte univerzálisan alkalmazható.

A műszer hivatalos neve az ELGI-DAS, az intézetben azonban csak *Giligráf*ként emlegetik. Újszerűsége autonóm jellegében van. Önálló egységként a háromkomponens szeizmikus jelek folyamatos regisztrálásra alkalmas. Egyaránt jól használható aktív és passzív hullámforrású mérésekre is, összefüggő kábelrendszert nem igényel, és könnyen kezelhető bonyolult terepi körülmények között is.

A műszer kialakítása egyszerű, ötletes és a saját kategóriájában igen olcsó. Ebből a műszer típusból eddig 72 db készült el, amely a Geofizikai Intézet és a hazai kutatási tevékenység számára nagyon fontosnak bizonyult, ugyanakkor már több (magyar résztvevő nélküli) nemzetközi expedíció

is igényelte őket. Ezek közül talán legjelentősebbek az Antarktiszon és a Spitzbergákon végzett kutatások voltak, ahol extrém körülmények között is kiválóan vizsgáztak az eszközök. (Egyetlen műszer ment csak tönkre: ezt a Spitzbergákon egy jegesmedve rongálta meg.) Ezenkívül sikeres méréseket végeztek a műszerekkel még Ausztria, Finnország, Horvátország, Lengyelország és Svédország területén. Horvátország területén több mint egy évig működött egy 15 db ELGI-DAS eszközből kiépített, az egész ország területét fedő, folyamatosan üzemelő szeizmológiai hálózat, amelyet aztán Finnországba telepítettek át, ahol jelenleg is működik.

E sikeres és eredményes mérések ellenére sem állt le a fejlesztés. 2008-ban elkészült az ELGI-DAS-2, az autonóm adatgyűjtő egy fejlettebb, speciálisabb változata. Újszerűsége elsősorban a finomabb mintavételezésben és ennek megfelelően jóval pontosabb időalap előállításában van. A műszerekkel jelenleg Berlinben folyamatosan végeznek méréseket egy gáztározóban. Kevés műszer van a világon, amellyel ez a feladat megoldható.

Gili László a kutatóintézeteknek a rendszerváltást követő nagy létszámleépítései óta egyedül dolgozik, ennek ellenére az elmúlt öt évben végzett munkája, fejlesztési eredményei a nemzetközi programokba bekapcsolódott magyar geofizikai kutatások számára döntő jelentőséggel bírnak. Műszerei mind paramétereikben, mind sokoldalú felhasználhatóságukban megelőzik a világpiacon jelenleg elérhető hasonló eszközöket.

Kovács Attila Csaba



A 2009. évi Gábor Dénes-díjak a Parlamentben – balról az első Gili László

HELYESBÍTÉS

Dr. Polcz Iván tagtársunktól kaptam a következő üzenetet:

„Fel szeretném hívni a figyelmedet, hogy a *Magyar Geofizika* 50. kötete 3. számában a 109. oldalon a »Kirándulás a Vértesszőlő» című cikk egyik képének felírása (»Vértesszőlősi

templom») téves, mert az tulajdonképpen a majki főbejáratot és templomtornyot ábrázolja.»

A hibáért elnézést kérünk.

Bodoky Tamás

Tisztelt Kollégák!

Amint már azt előző számunkban is leírtam, az Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény egy, a maga nemében egyedülálló műszaki és tudománytörténeti gyűjtemény és kiállítás. Létrejöttéhez kollégáink hosszú sorának önzetlen és lelkes munkájára, szakmaszeretetére és figyelmére volt szükség. Egy teljes évszázadon át! Most rajtunk a sor, hogy, amit az előttünk járóktól örököltünk, azt hiánytalanul, talán még tovább is bővítve adjuk át az utánunk jövőknek.

Ehhez a hivatalos, nem éppen tudomány- vagy kultúrabarát Magyarország „jóindulata” nem biz-

tos, hogy elegendő. Éppen ezért egy tagtársunk úgy ítélte, hogy az ügynek magántámogatásra is szüksége van, és egy jelentősebb összeggel elindította a magántámogatások sorát. Tisztelettel kérjük, hogy aki átérzi a gyűjtemény értékét és teheti, csatlakozzon hozzá.

A támogatásokat az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítványon keresztül lehet eljuttatni a gyűjtemény részére. Az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány számlaszáma: 10200892-31410618.

Bodoky Tamás

MEGALAKULT AZ MGE TUDOMÁNYTÖRTÉNETI BIZOTTSÁGA

A Magyar Geofizikusok Egyesülete 2009. február 24-i Elnökségi ülésén határozott a Tudománytörténeti Bizottság létrehozásáról.

Korábban is működött bizottság, illetve csoport, amely a tárgykörbe tartozó kérdésekkel foglalkozott, eredmények is voltak, amelyek közzétételéről a *Magyar Geofizika* főszerkesztője gondoskodott.

Az új Bizottság azonban olyan céllal jött létre, hogy a szakmát érintő átfogó kérdésekkel foglalkozzon, s kiterjedjen mindazokra a területekre, ahol értékmérés kell, ahol dokumentáltan hiteles összefoglalás szükséges. „Amíg nem késő”, szólaltassuk meg nagy öregjeinket, a múlt (és persze jelen) élő tanúit, hogy a lehető leghitelesebb anyagokat állíthassuk össze.

Ezt kell tükröznie a Bizottság összetételének is. Így a geofizika szakterületeit – némi rábeszélés, de szíves vállalás után – az alábbi kollégák képviselik a Bizottságban:

- gravitációs és földmágneses kutatás: Szabó Zoltán,
- geoelektromos kutatás: Nagy Zoltán,
- szeizmikus kutatás: Molnár Károly,
- mélyfúrás-geofizikai kutatás: dr. Kis Bertalan (szénhidrogének), dr. Baráth István (szilárd hasznos ásványok, víz).

A Bizottság elnöke – az MGE elnökségének felkérését elfogadva – dr. Baráth István.

Az MGE elnöksége elfogadta és egyhangúlag megszavazta a Tudománytörténeti Bizottság összetételét.

Volt javaslat – Nagy Zoltán részéről –, hogy nagy létszámú bizottság jöjjön létre. Ezt azzal lehetett elhárítani, hogy nagy létszámú bizottság általában nem tud eredményesen dolgozni. Ugyanakkor valójában megvalósul a gondolat, hiszen egy-egy feladat kidolgozásában bárki részt vehet, akinek kedve van, reméljük minél többen.

Az egyes tanulmányok a Bizottság elé kerülnek, s ott egy-egy szemléletet képviselve nyerik el végleges formájukat, s jelenhetnek meg a *Magyar Geofizikában*, vagy az MGE adatbázisában kéziratként. Egyéb lehetőségek is felhasználhatók a publikálásra.

Ezek az anyagok – dokumentumértékűek lévén – bármikor, bárki által felhasználhatók lesznek a megfelelő hivatkozással, kimutatás készül róluk, és a *Magyar Geofizikában* ez is meg fog jelenni.

A Bizottság által eddig megfogalmazott feladatok, célok:

1. A Nemzeti Kegyeleti Bizottság hatáskörébe ajánlott nagyjaink névsorának áttekintése, sírjaik megváltásával kapcsolatos javaslatok kidolgozása, esedékes évfordulók számontartása, a figyelem felkeltése (pl. a *Magyar Geofizikában*).
2. Elhunyt nagyjainkról lista összeállítása, szakmai életútjuk megírása.

3. Minden intézménynél, vállalatnál, ahol geofizikai szolgálat (ill. geofizikus) működött vagy működik, a geofizika helyi történetének megírása.
4. A geofizika szakterületeinek (gravitációs, földmágneses, geoelektromos, szeizmikus és mélyfúrás-geofizikai kutatások) történeti fejlődése Magyarországon.
5. Az Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény (múzeum) kiállítási anyagának gyarapítása.
6. Elhunyt geofizikusaink nekrológjainak összegyűjtése és aktualizálása.
7. Megjelent cikkek, tanulmányok, szakmai könyvek és jegyzetek címjegyzéke (nem csak az egyetemi tanszékeké!).
8. Az eddig megjelent tudománytörténeti cikkek, anyagok „leltára”.
9. Érdekes – geofizikával, geofizikusokkal kapcsolatos – történetek, esetek és események figyelése és feldolgozása.

A felsorolt néhány, fontosnak tűnő gondolat, pontosításához és/vagy bővítéséhez várjuk kollégáink javaslatát. Már a fenti témák jellege és néha lokális helyzete azt tükrözi, hogy önálló kis csoportok tudnak igazán és valóságosan dolgozni rajtuk.

Azt szeretnénk, ha a javaslat – amelyet nagyon várunk – azt is tartalmazná, hogy mely témában, milyen minőségben – tag, vezető – kíván a javaslattevő részt venni, illetve – akár előzetes egyeztetés alapján – kik vesznek (vehetnének) benne részt.

Tudjuk, hogy kollégáink többségének más, napi feladatai is vannak. Ilyen megfontolás is arra készített bennünket, hogy ne tűzzünk ki szoros vagy nehezen teljesíthető határidőket, de a TTB tagjai figyelemmel kísérik az egyes tanulmányok megvalósításának menetét, és segítően közreműködnek a sikeres befejezés érdekében, illetve javasolják annak a megfelelő helyen és módon történő megjelenését, publikálását.

Előfordulhat, hogy a befejezés határidejét megjósolni sem lehet, de a munka megkezdéséről célszerű tájékoztatást adni, ami egyfajta erkölcsi kötelezettség a munka elvégzésére, és új közreműködő jelentkezését is maga után vonhatja.

A határidők erőltetett számonkérése hiba lenne. Azok, akik vállalkoznak tudománytörténeti munkára, tisztességgel, nagy alapossággal és szeretettel végzik munkájukat, és e téren a megbízhatóság mindennél fontosabb.

Várjuk a javaslatokat témára és személyes munkára. A TTB minden javaslatot megtárgyal és visszajelez a javaslattevőnek. Aki a feladatok kidolgozásában részt venni szeretnének, kérjük, közöljék minden elérhetőségüket.

Dr. Baráth István
a TTB elnöke

NYERSANYAG- ÉS ENERGIÁKINCÉS – UTAK A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS FELÉ

BESZÁMOLÓ AZ MGE 2010. JANUÁR 20-I RENDEZVÉNYÉRŐL

„Új utak a földtudományban” címmel indított előadás-sorozatot a Magyar Geofizikusok Egyesülete. A sorozat keretében elismert hazai szakértők mutatják be a Föld Bolygó Nemzetközi Éve projekt egy-egy témakörét.¹ Az első rendezvényre 2010. január 20-án került sor az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet konferenciatermében.² A 80 főt meghaladó hallgatóság előtt öt előadás hangzott el, a levezető elnök Brezsnjanszky Károly volt. A vetített ábrák megtekinthetők az Egyesület honlapján.

Az első rendezvény már a címében – „Nyersanyag- és energiákincs – utak a fenntartható fejlődés felé” – ellentmondást, illetve megoldandó feladatot tartalmaz. Az ásvány-vagyon meg nem újuló természeti erőforrás. A vagyon realizálásához nélkülözhetetlen annak kitermelése. Mit jelent ebben az esetben a fenntarthatóság? A gazdaság fenntartható működéséhez szükséges energia milyen forrásból, meddig, mekkora ráfordítással (stb.) biztosítható? Ez a legégetőbb kérdés. A kőolaj és a földgáz iránti igény tovább nő, a földtörténeti múltban keletkezett, véges mennyiségnek egyre nagyobb ráfordítással megismerhető és kitermelhető részét hasznosítjuk. Így ma még az ellátottság – azaz a megkutatott és kitermelhető vagyon és az éves termelés hányadosa – nem csökken, ám ennek ára az egyre magasabb beruházási és termelési költség. A növekvő ár rossz a fogyasztónak, igényei korlátozásához vezet – de kedvező abból a szempontból, hogy alternatív erőforrások kifejlesztésének, bevezetésének nyit teret. Mit várhatunk a nyersanyagokért folyó világméretű versenytől, amelynek résztvevői igen eltérő feltételekkel rendelkeznek? Bár a választ csak a jövő adhatja meg, támogatniuk a szolgáltatásokat az előrejelzések, amelyekre az előadások is utaltak. A bennük foglalt megállapítások és következtetések továbbgondolása, megvitatása egyaránt ajánlható a szakembereknek és a döntéshozóknak.

Farkas István a földtani ismeretek közigazgatásban betöltött szerepét mutatta be. A 2007. január 1-jén megalakult Magyar Bányászati és Földtani Hivatal kebelébe kerültek mindazok a feladatok és hatáskörök, melyekkel korábban a Magyar Geológiai Szolgálat rendelkezett. A módosított Bányatörvény a földtani hatásköröket a következőképpen rögzíti:

- A földtani közeg és az ásványi nyersanyagok megkutatottsági szintjének növeléséhez és az adatok nyilvántartásához fűződő állami érdek érvényesítése;
- A földtani közeg által okozott veszélyek és káros folyamatok elleni védelem szempontjainak érvényesítése;
- A földtani közeg hasznosítási lehetőségeinek számbavétele, értékelése és a hasznosítás földtani feltételeinek meghatározása.

¹ Lásd: <http://www.foldev.hu>

² Az eredeti program – amelyet az egyesület honlapján (<http://www.mageof.hu>) hirdettünk meg – annyiban módosult, hogy Szabados Gábor helyett Farkas István tartott előadást.

- A folyamatban lévő jogalkotás a következőkre terjed ki:
- Geotermikus energia (Bányatörvény végrehajtási rendelete);
 - Földtani szakértői engedélyek (KHEM rendelet);
 - Bányászati hulladék (GKM rendelet módosítása)
 - Ipari szén-dioxid-elhelyezés (Bányatörvény és végrehajtási rendeletek);
 - Ásványvagyon-gazdálkodás (Kormányrendelet).

Fodor Béla hazánk ásványvagyonát, annak mennyiségét, szerkezetét, a felhasználás lehetőségeit és korlátait ismertette 2008. január 1-jei adatok alapján. Magyarország ásványi nyersanyagokkal közepesen ellátott ország. Ismert ásvány-vagyon (a megkutatott szénhidrogén, kőszén, érchordozó ásványok, ásványbányászati és építési nyersanyagok összesített mennyisége) 37,7 Mrdt, amelyből a jelenleg alkalmazott technológiával (néhány nyersanyagfőelés esetében több száz év alatt) 14,0 Mrdt gazdaságosan termelhető ki. A kitermelés során elérhető gazdasági eredmény 10000 MrdFt. A kitermelést azonban számos tényező korlátozza (természet-, környezet-, földvédelem, más célú területhasznosítás stb.). A 2007. évi termelés 75 Mt volt.

Az összesített értékeknél jobban értelmezhetők a nyersanyagfőelésekre lebontott adatok. Kőolajból a 2007. évi termelés 0,84 Mt volt, ezen a szinten a jelenleg ismert vagyonból 23 évig biztosítható a termelés, ám ez a mennyiség a hazai fogyasztásnak csak 10–12%-át fedezi. Földgázkészletünk jelentősebb, a működő bányával lekötött vagyon 56,6 Mt (1000 m³ földgáz = 1 t kőolaj), amely 2,65 Mt éves termelés mellett 25 év ellátottságot biztosít.³ A hazai termelés a teljes fogyasztás 20–22%-a.

Kőszénvagyonunk igen jelentős: feketekőszén: 2,0 Mrdt, barnakőszén: 2,2 Mrdt, lignit: 4,4 Mrdt. A hazai termelés 9,8 Mt/év, a teljes felhasználás 80%-a. A korábbi évtizedekben végzett sikeres kutatások alapján számos területen kezdeményezhető új bányák nyitása.

Zelenka Tibor széles körű áttekintést adott a hazai érc- és ásványbányászatról. Bemutatta, hogy az egyes történeti korokban az adott földtani viszonyok, az elért műszaki színvonal, valamint a változó hatalmi és gazdasági érdekek hogyan hatottak a nyersanyagtermelésre. A középkor, az ipari forradalom, majd a két világháború közötti időszak sajátosságainak ismertetése után rátért a szocialista tervgazdaság ásványvagyon-politikájának jellemzésére. A tervutasításos rendszernek megvolt az az előnye, hogy országos szinten

³ Ebben a vagyonban nem szerepel a Makói Árokban kimutatott hatalmas mennyiség, amely azonban hagyományos technológiával nem termelhető ki. A termelési technológia fejlesztését, a nagymélységű fúrásokat a területen bányászati jogosultságot szerzett Falcon, ExxonMobil és MOL közösen végezte. Az előadások után megjelent újsághír: a kutatások sikertelensége miatt az ExxonMobil és a MOL itteni tevékenységét befejezte.

koordinálták a kutatásokat, létrehozták a bányageológusi szolgálatokat, 1953-tól egységes elvek szerint vezették az ásványvagyon nyilvántartását. A ma művelt bányák és nyilvántartott nyersanyaglelőhelyek döntő hányadát ekkor kutatták meg. 1990 után az állami finanszírozású kutatások megszűntek, a „jó bányákat” privatizálták, a „nem gazdaságos” bányákat bezárták. A külföldi partner a nyereséget az országból kivitte, nem kutatott, nem ruházott be, majd az adókedvezmény megszűnte után kivonult az országból. A privatizáció előtt termelt 25 féle nyersanyagból még 20 nyersanyag termelése folyik, de csak tíz esetben jelentősebb a termelés (üveg- és öntődei homok, mangánérc, minőségi dolomit és mészkő, perlit, zeolitok, mészkő és dolomit, kerámiaipari agyagok).

Bérczi István a világ kőolaj- és földgáztermelésének lehetőségeit gazdag ábraanyaggal mutatta be. Az előadások szűkre szabott időtartama ennél a témánál okozta a legnagyobb veszteséget a hallgatóság számára. A jelen beszámoló még kevesebbre vállalkozhat. Itt csupán néhány kiválasztott megállapítás szerepel:

- Az alternatív energiaforrások még messze vannak attól, hogy jelentősen hozzájáruljanak a fosszilis energiahordozók „leváltásához”.
- Az egy főre jutó energiafogyasztás országonként igen eltérő: kiemelkedően magas (az átlag nyolc-tízszere), a nagy termelőknél, ún. Katar és miniállamokban, ún. Belgium, magas Észak-Amerikában és Japánban (négyhatszor), átlag feletti az EU vezető országaiban és Oroszországban (két-háromszor), míg Kínában a világátlag fele, Indiában pedig az ötöde a fogyasztás.
- A világ tüzelőanyag-igénye – ezen belül legnagyobb mértékben a szén felhasználása – 2007 és 2030 között 40%-kal fog nőni.
- Kínában és Indiában a teljes energiafogyasztáson belül 70%, illetve 53% a szén részaránya, többszörösen meghaladja más országok átlagát.
- Számos új szénhidrogén-előfordulás ismert, de ezek feltárása, kitermelése igen költséges a szélsőséges klimatikus és földrajzi adottságok, a nagy szállítási távolságok, a fejletlen infrastruktúra, valamint a magas munka- és szervizköltségek miatt. *Példák:* 1) A Santos-medence a szárazföldtől több száz kilométerre helyezkedik el, a produktív rétegek 1,5–3,0 km-re a tengervíz alatt, 2,5–6,5 km mélységben találhatók; 2) Az északi sarkvidéken a várható fajlagos termelési költség 500–700 \$/t, a mai átlagos költség húszszorosa.

(Az előadó legfontosabb megállapításaira, következtetéseire az összefoglalóban visszatérünk.)

Szanyi János az átlagosnál kedvezőbb geotermikus adottságaink jobb hasznosítása mellett érvelt. Hőszivattyúval hasznosítható a felszín közeli rétegek hőtartalma, hévizeink energiája fűtésre, szárításra alkalmas (direkt hőhasznosítás), a nagy entalpiájú (100–150 °C-nál melegebb) geotermikus rezervoárookra elektromos erőmű telepíthető. Az évente hasznosított geotermikus energia hazánkban 3,8 PJ (ebből 3,6 PJ direkt hőhasznosítás, 0,2 PJ hőszivattyú), ez az ország teljes energiaszükségletének csupán 0,3%-a. Nagyságren-

dekkel kisebb az ország felszínére feljutó, évente megújuló földhőnél. Más összehasonlításban: a hazánknál kedvezőtlenebb adottságú Svédországban 36 PJ energiát hasznosítottak hőszivattyúval 2005-ben. A példák a hasznosítás jelentős mértékű növelésének lehetőségét mutatják.

A kedvező adottságaink hasznosításában mutatkozó elmaradásunk okait az előadó a következőkben látja:

- Tisztázatlan a jogi helyzet, jogszabályi hiányosságok;
- Megbízhatatlanok az adatok: nincs az adatok gyűjtéséért és szolgáltatásáért felelős hatóság;
- Tisztázatlan a visszasajtolási kötelezettség (kivételek, következtetlenségek);
- Hiányzik a kedvezőbb, reális árképzés, mely az externális költségeket is figyelembe veszi.

A geotermikus energia hasznosításának vezető szakemberei által kidolgozott javaslat szerint a következő évtizedben akár egy nagyságrenddel is növelhető a hazai geotermikus energiatermelés, de ehhez közel 1000 MrdFt beruházás szükséges. A fejlesztés 30%-os (erőművek esetében 15%) vissza nem térítendő támogatás mellett valósulhat meg. Így a vállalkozói beruházás megtérülése 8–12 év.

Összefoglalás

Meskó Attila a fenntarthatóság, a fenntartható fejlődés három pillérét határozta meg.⁴ Az alábbiakban az elhangzottakat az egyes tartóoszlopok szerint rendezve tekintjük át.

1. A gazdaság (az ipar, a mezőgazdaság, az energetika, a közlekedés) fenntartható működése

a) A hazai források fokozott hasznosításával növelhető az energiaellátásunk biztonsága.

A hazai megkutatott kőszénvagyon hasznosítása, az importfüggőség csökkentése érdekében új bányák nyitása indokolt: Torony, Füzesabony, Nagyréde (lignit); Borsod, Nógrád, Bakony (barnakőszén); Nagymányok, Máza, Váralja-dél (feketekőszén). A „tisztá technológiával” üzemelő szén erőművek környezetvédelmi szempontból is megfelelőek (Fodor Béla).

A geotermikus energiatermelés jelentős mértékben növelhető, ehhez azonban jelentős állami támogatás (kedvező jogszabályi környezet, vissza nem térítendő juttatás) szükséges (Szanyi János).

b) A fenntarthatóság feltétele a tervezés, a felkészülés

Bérczi István előadása szerint a következők jellemzik a fosszilis tüzelőanyagokról a megújuló energiák használatára való áttérés időszakát:

- Hosszú átmeneti időszak;
- Lényeges technológiai áttörés szükséges (a szénhidrogén feltárása és a megújulók hasznosítása területén egyaránt);
- Az átmenet töke-, munka- és időigényes;
- A fosszilis tüzelőanyag marad az uralkodó energiaforrás;
- Ez az időszak a régi és új szénhidrogénmezők feltárásának reneszánszát jelenti;

⁴ Meskó Attila: *A földi élet fenntarthatóságának kérdései*. Minden Tudás Egyeteme, V. szemeszter, 3. Előadás, 2004. szeptember 20.

– Nem nélkülözhető a (tiszt) szén és a (biztonságos) nukleáris energia.

2. A társadalmi viszonyok (politikai rendszerek, nemzetközi jogi és gazdasági rendszerek) elfogadható, rugalmas és önkorrekcióra képes formáinak megvalósítása

a) Jogszabályok

A hazai jogszabályi környezetet az előadók több szempontból kifogásolták. A hazai ásványvagyon alulértékeljük, kitermelését ésszerűtlen akadályok is nehezítik, ásványvagyon-politikánk nincs vagy nem megfelelő (Fodor Béla). Kormányrendelet készül az ásványvagyon-gazdálkodásról (Farkas István). A jogszabálykészítést előzze meg az ásványvagyon-politika kialakítása.

Bérczi István Lynn Hughes-t, az USA köztisztviselőjét idézte: „A szakmai hozzáértés nem helyettesíti az erkölcsi feddhetetlenséget... Sikeres társadalom csak törvényi szabályozáson..., a szabályok betartásán,... szigorú személyes felelősségen és tisztességen alapulhat”.

b) Gazdasági, pénzügyi feltételek

Elővigyázatos és fegyelmezett vállalatok és elővigyázatos kormányok együttműködése szükséges ahhoz, hogy a „post-carbon” korszakra való átmenet idején is biztonságos legyen az energiaellátás (Bérczi István).

Ha volt pénz a rosszul irányított bankok megmentésére, akkor az olajipari vállalatok is elvárják, hogy „Robin Hood” adó helyett arra ösztönözzék őket, hogy profitjukat zöldmezős feltárásokba forgassák vissza (Bérczi István).

3. A környezet és a természeti erőforrások megőrzése

Természeti erőforrásaink megőrzését elősegíthetjük úgy, hogy a kitermelt ásványvagyon kutatással pótoljuk, ám az érc- és ásványbányászati nyersanyagok pótlása nem történt meg (Zelenka Tibor). Sérült az ásványi nyersanyagok megkutatottsági szintjének növeléséhez fűződő állami érdek (földtani hatáskör).

Rezessy Géza

Szerkesztősi közlemény: A sorozat következő előadása f. év máj. 19-én lesz. Lásd a Rendezvéynaptárt.



Az előadás-sorozat szervezője, Rezessy Géza



A hallgatóság soraiból



Dr. Posgay Károly hozzászól



Dr. Dank Viktor hozzászól

Sorfejtéses inverzió – Fourier-transzformáció mint inverz feladat¹

VASS PÉTER², DOBRÓKA MIHÁLY^{2,3}

Az időtartományban mért jelek frekvenciatartománybeli feldolgozásának alapját a Fourier-transzformáció képezi. Ennek számítógépen megvalósítható speciális esete, a diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) széles körben alkalmazott eljárás, ám az eredményeinek felhasználásakor figyelembe kell venni, hogy a mérési zajokra nagyon érzékenyen reagál. A Fourier-transzformációt inverziós feladatként értelmezve, a zajokkal szemben rezisztens viselkedést biztosító módszert dolgoztunk ki. Az eljárás alapja a komplex spektrum sorfejtéses diszkrétizációja, amelynek együtthatóit túlhatározott inverz feladat keretében határozzuk meg. Bemutatjuk az Hermite függvényrendszerrel diszkrétizált frekvenciaspektrum meghatározására szolgáló inverz Fourier-transzformáció két algoritmusát. A legkisebb négyzetek elve szerinti Fourier-transzformáció (LSQ-FT) Gauss-eloszlást követő zaj jelenlétekor, az iteratív újrasúlyozás elve szerinti Fourier-transzformáció (IRLS-FT) pedig kiugró hibaértékek fellépésekor mutat figyelemre méltó zajcsökkentő hatást, amit az általunk elvégzett vizsgálatok eredményei szemléltetnek.

P. VASS, M. DOBRÓKA: Series expansion based inversion – Fourier transform as an inverse problem

Fourier transform plays a determining role in geophysical data processing. In computer applications the discrete Fourier transform (DFT) is extensively used. The Fourier transform itself is very sensitive for the noise contaminating the measurement data. Interpreting the Fourier transform as an inverse problem, we have worked out a method providing high resistance to noises. The model in the inverse problem is the frequency spectrum approximated by finite series expansion. The expansion coefficients play the role of the unknown parameters to be determined in the framework of an overdetermined inversion problem. We introduce two variants of the inverse Fourier transform determining the frequency spectrum discretized by the Hermite system of functions. In case of Gaussian noise the least square Fourier transform (LSQ-FT), and for the appearance of outliers the iteratively reweighted least squares Fourier transform (IRLS-FT) produce significant noise reduction effect which is represented by the results of the examinations performed by us.

Bevezetés

A geofizikai mérési adatokban foglalt információ kiolvasása rendszerint hosszú művelet sor végén válik lehetővé. E folyamatban az adatfeldolgozás jelenti a kezdetet, amelynek eszköztárában kiemelten fontos szerepet játszik a Fourier-transzformáció. Időben (vagy térben) változó jelenségek vizsgálatára a műszaki és természettudományok területén igen hasznos eszköznek bizonyult a Fourier-analízis, melynek segítségével az időtartományban mért jel frekvenciatartománybeli (spektrális) jellemzése végezhető. A spektrum előállítására egzakt matematikai formulákon, ill. azok bázisán különböző feladatokra kidolgozott algoritmusokon alapul, így széles körben alkalmazott eszköz a diszkrét idősorok Fourier-analízisében a diszkrét Fourier-transzformáció (DFT), ill. annak számítógépi környezetre specializált változata, az FFT.

A mérési adatok mindig zajjal terheltek, így a feldolgozás, ill. értelmezés módszereit abból a szempontból is vizsgálunk kell, milyen mértékben zajérzékenyek. A Fourier-transzformáció lineáris leképezés, diszkrét variánsaiban (DFT, FFT) pedig a spektrumot inhomogén lineáris algebrai egyenletrendszer megoldásaként állíthatjuk elő. Érthető te-

hát, hogy az időtartományban jelentkező zajt a lineáris transzformációval leképezzük a frekvenciatartományba, emiatt a Fourier-transzformáció zajérzékeny eljárás.

A folytonos Fourier-transzformáció

A Fourier-transzformáció a jel regisztrálásának tartományát (pl. időtartományt) és a jel vizsgálatának tartományát (frekvenciatartományt) kapcsolja össze az

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

összefüggés alapján, melyben az $x(t)$ a jel időfüggvényét, az $X(f)$ pedig annak frekvenciaspektrumát jelöli. A Fourier-transzformáció bázisfüggvénye a $K(f, t) = e^{-j2\pi ft}$ komplex függvény, és ennek megfelelően a frekvenciaspektrum is általában komplex értékű függvényként áll elő. A bázisfüggvény reciproka adja meg az inverz transzformáció bázisfüggvényrendszerét, melynek segítségével felírható a fordított irányú (frekvenciatartományból időtartományba történő) átalakítást biztosító inverz Fourier-transzformáció (IFT):

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \cdot e^{j2\pi ft} df. \quad (2)$$

Az elméletileg felírható időfüggvények nem mindegyikének létezik a Fourier-transzformáltja. A Fourier-transzformált létezésére vonatkozóan a Dirichlet-féle feltételek érvényesek [HÜTTE 1993]. Ezek a feltételek nem jelentenek erős korlátozást a gyakorlat szempontjából, mivel a determinisz-

¹ Beérkezett: 2010. február 9., elfogadva: 2010. február 15.

² Miskolci Egyetem, Geofizikai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros; E-mail: gfvass@uni-miskolc.hu

³ MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc, Egyetemváros

tikus jelek időtartománybeli viselkedése a legtöbb esetben leírható, ill. jól közelíthető olyan függvényekkel, amelyek négyzetesen integrálhatók a valós számok értelmezési tartományán. Ennek a jelentősége abban mutatkozik meg, hogy a négyzetesen integrálható időfüggvényekkel megadható (véges energiájú) jelek esetében a Fourier-transzformált létezik.

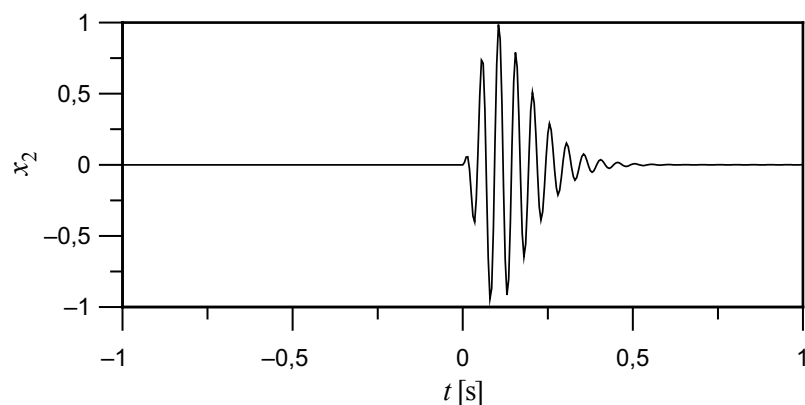
A diszkrét Fourier-transzformáció

A digitális mérés technika és a számítógépes adatfeldolgozás fejlődésének már a korai szakaszában megmutatkozott az igény egy olyan módszer kifejlesztésére, melynek segítségével a folytonos Fourier-transzformáció lehetőségei véges hosszúságú diszkrét adatrendszerekre is kiterjeszthetők. A diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) a folytonos Fourier-transzformációból levezethető, annak számítógépes adatfeldolgozásra alkalmazható speciális esete [ORAN BRIGHAM E. 1974]. A DFT művelete, a folytonos $x(t)$ időfüggvény origóra szimmetrikus $2T$ hosszúságú intervallumán Δt időközzel vett, N darab $x(k\Delta t)$ függvényértékből képzett, véges hosszúságú diszkrét időfüggvényből kiindulva állítja elő az ugyancsak diszkrét $X(n\Delta f)$ frekvenciaspektrumot az alábbi összefüggés alapján:

$$X(n\Delta f) = \Delta t \sum_{k=-N/2}^{N/2} x(k\Delta t) \cdot e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad \Delta f = \frac{1}{N\Delta t}.$$

A bemutatott formula dimenzióhelyes, és arra az esetre vonatkozik, amikor a mintavételi értékek a mintavételi időközök közepére vonatkoznak. Az alul megtört zárójelpár, $\lfloor \rfloor$, az egészrészképzés műveletét jelzi. A diszkrét frekvenciaspektrum-értékeket azonosító, n egész értékű változó a k -hoz hasonlóan, ugyancsak a $\lfloor -N/2 \rfloor, \lfloor N/2 \rfloor$ zárt intervallumban vehet fel értéket.

A DFT által előállított frekvenciaspektrumok jól közelítik az elméletileg elvárható frekvenciaspektrumot, ha a vizsgált jel hibáktól mentes, valamint a mintavételi időközt és a regisztrálási időtartamot megfelelően megválasztjuk. Erre mutatunk példát a következő ábrákon. Az 1. ábrán egy zajmentes oszcilláló jelcsomag időtartománybeli képe látható, a 2. ábra pedig ennek a jelnek a matematikai formában ismert frekvenciaspektrumát mutatja be. A 3. ábrán jelenik meg a hibamentes jel DFT-vel számított frekvenciaspektruma.



1. ábra. A zajmentes jel időtartománybeli képe

Fig. 1. The time domain representation of the noise-free signal

A DFT-vel számított és a pontos frekvenciaspektrum között vizuálisan észlelhetetlen az eltérés (az egyes mintavételi értékek közötti eltérések nagyságrendje 10^{-7}).

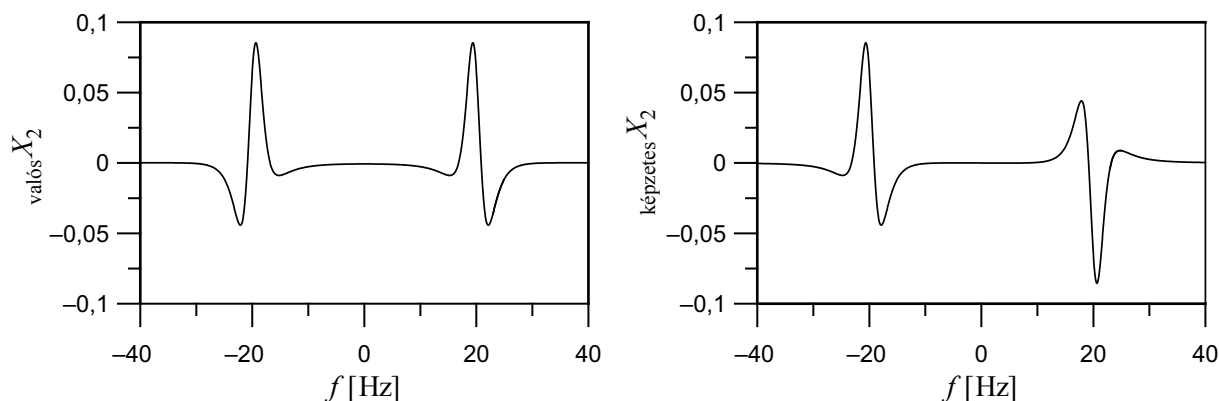
Annak szemléltetésére, hogy az időtartományban megjelenő zajokra azonban milyen érzékenyen reagál a DFT, az előzőleg bemutatott jelet módosítottuk úgy, hogy $\sigma = 1$ szórási Gauss-eloszlást követő zaj z_1 értéksorát adtuk hozzá. A zajjal terhelt jelet a 4. ábra mutatja. Ennek DFT-vel számított frekvenciaspektruma a 5. ábrán látható, melyen megfigyelhetők ugyan a hibamentes jelnél tapasztalt csúcsok, ám a zaj hatására jelentős torzulást tükröznek a képek.

A gyakorlat a Gauss-eloszlásnál rendszerint nehezebben kezelhető zajt tartalmazó adatrendszereket produkál, ezért az előző adatrendszer véletlenszerűen kiválasztott 10%-ához további extra zajt keverve (kiugró adatok) előállítottuk a 6. ábrán látható adatrendszert. Az 1. ábra hibamentes képével összevetve, az adatrendszer erősen zajosnak tekinthető. Megdöbbentő képet kapunk, ha az adatrendszer DFT-vel számított spektrumát ábrázoljuk. A 7. ábrán megjelenített spektrumon a hibamentes esethez tartozó csúcsokra és elhelyezkedésükre vonatkozóan már szinte semmilyen következtetést nem vonhatunk le.

A bemutatott ábrák egyértelműen szemléltetik a DFT zaj-érzékeny viselkedését. Ennek az előnytelen tulajdonságnak az ismeretében joggal merül fel az igény egy rezisztensebb (zajjal szemben kevésbé érzékeny) és robusztusabb (a zaj eloszlásától kevésbé függő) tulajdonságokkal bíró frekvenciaspektrum-számítási módszer kifejlesztésére. A geofizikai inverzióelmélet kész eszköztárában kínál a mérési hibákkal terhelt adatrendszerekben foglalt információ kiolvasására. Ebből a tényből kiindulva alakíthatjuk ki a frekvenciaspektrum inverziós módszerekkel történő meghatározásának új koncepcióját, melynek lényegét a Fourier-transzformáció inverz feladatmegoldásra történő visszavezetése képezi.

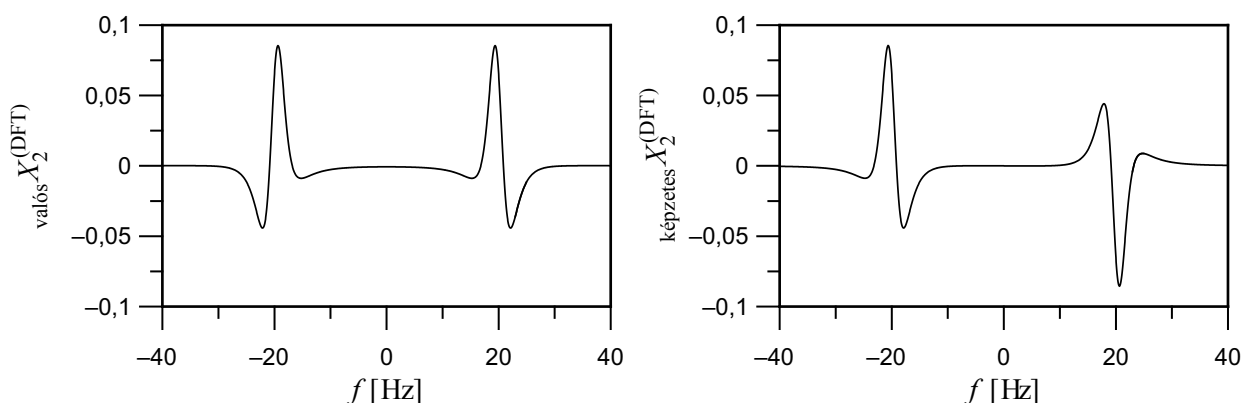
A Fourier-transzformáció mint inverz feladat

A folytonos Fourier-transzformációval az $x(t)$ folytonos jel $X(f)$ spektrumát állítjuk elő. Gyakorlati feladatokban a folytonos $X(f)$ függvényt diszkrétizálnunk kell. Az inverz feladatok megoldása terén ennek igen hatékony eszköze a sorfejtés, ahol a függvényt egy alkalmasan választott bázisfüggvényrendszer szerint fejtjük ki:



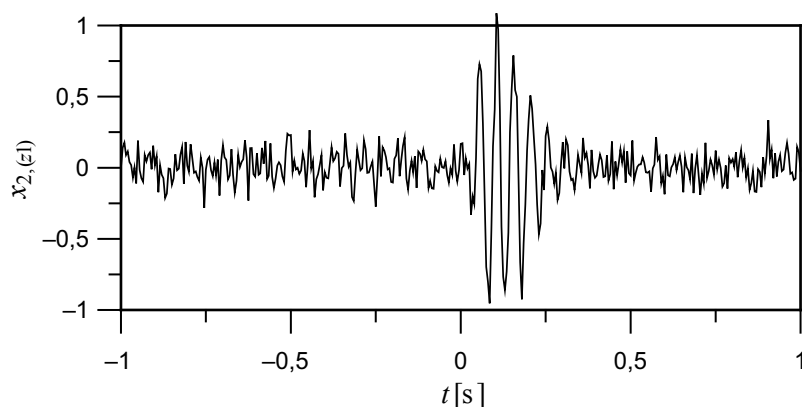
2. ábra. A zajmentes jel analitikusan számított frekvenciaspektruma

Fig. 2. The two parts of the exact frequency spectrum of the noise-free signal



3. ábra. A zajmentes jel DFT-vel számított frekvenciaspektruma

Fig. 3. The two parts of the DFT-computed frequency spectrum of the noise-free signal



4. ábra. Gauss-eloszlású zajjal terhelt jel időtartománybeli képe

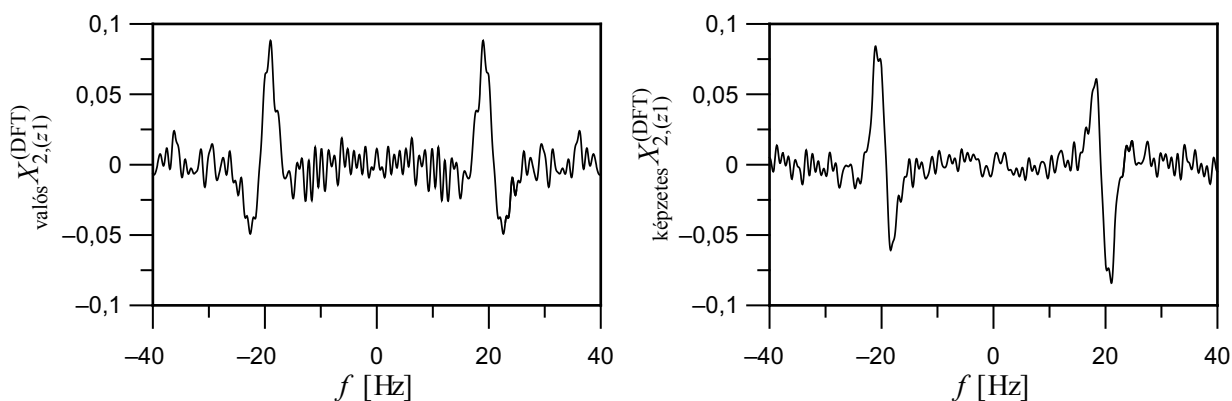
Fig. 4. The time domain representation of the signal distorted by Gaussian noise

$$X(f) = \sum_{i=1}^M c_i \Phi_i(f), \quad (3)$$

ahol $\Phi_i(f)$ az i -edik bázisfüggvényt, c_i az i -edik sorfejtési együtthatót jelöli, amely komplex és frekvenciafüggetlen, M pedig a sorfejtésben figyelembe vett tagok számát jelenti. Ennek véges értéke egyben a közelítés véges pontosságát is jelenti, műszaki feladatok megoldása esetén azonban M

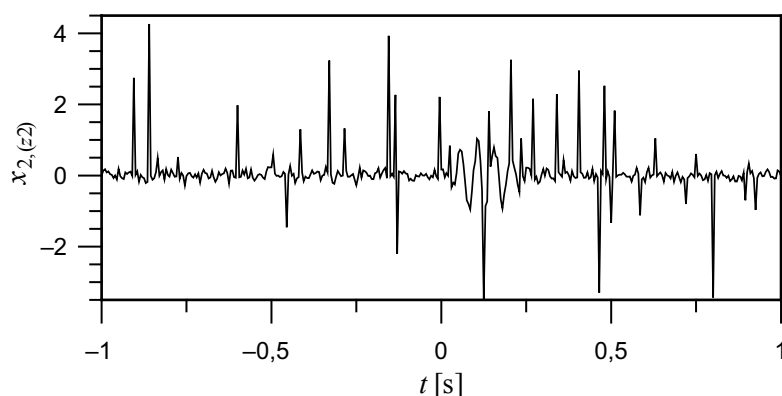
megválasztása a probléma természetéhez igazodva rendszerint adódik. Mivel a $\Phi_i(f)$ bázisfüggvényrendszer elemei ismertek, a c_i sorfejtési együtthatók ismeretében a spektrum előállítható.

Ha a Fourier-transzformációt inverz feladatnak tekintjük, a sorfejtési együtthatókat az inverzió ismeretlenjeként – vagy az inverzió terminológiáját használva modellparaméterként – kell kezelnünk. Az inverz feladat elméletében kiindulási pont az ún. direkt feladat, amely egy elméleti össze-



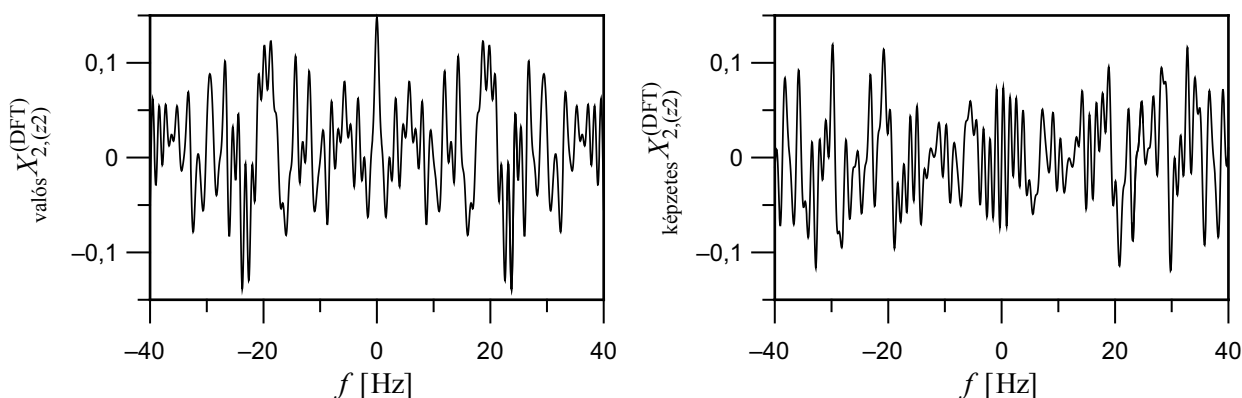
5. ábra. A Gauss-eloszlású zajjal terhelt jel DFT-vel előállított frekvenciaspektruma

Fig. 5. The two parts of the DFT-computed frequency spectrum of the signal distorted by Gaussian noise



6. ábra. Kiugró hibával terhelt adatrendszer időtartománybeli képe

Fig. 6. The time domain representation of the signal distorted by outliers



7. ábra. Kiugró hibával terhelt adatrendszer DFT-vel számított frekvenciatartománybeli képe

Fig. 7. The two parts of the DFT-computed frequency spectrum of the signal distorted by outliers

függést jelent a modell paraméterei (modelltér elemei, esetünkben sorfejtési együtthatók) és a (számított vagy elméleti) adatok (az adattér elemei) között. A Fourier-transzformáció esetében a direkt feladat megoldását jelentő formula, amely az elméleti adatok előállítására szolgál, nyilvánvalóan az inverz folytonos Fourier-transzformáció (2) kifejezése – a diszkretizáció módszerével választott (3) formulát felhasználva – az

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^M c_i \Phi_i(f) \cdot e^{j2\pi ft} df$$

$$= \sum_{i=1}^M c_i \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_i(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \quad (4)$$

alakban írható fel. Ha az $x(t)$ függvényt a t_k időpontban kérdezzük, akkor

$$x_k = x(t_k) = \sum_{i=1}^M c_i \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_i(f) \cdot e^{j2\pi ft_k} df. \quad (5)$$

Bevezetve a

$$G_{ki} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_i(f) \cdot e^{j2\pi ft_k} df \quad (6)$$

jelölést, az (5) egyenlet a mérés k -adik időpontjára vonatkozóan számított (elméleti) jelre az

$$x_k^{(\text{elm})} = x(t_k) = \sum_{i=1}^M c_i G_{ki} \quad (7)$$

lineáris kifejezést adja, vagy mátrix-vektor írásmódban:

$$\mathbf{x}^{(\text{elm})} = \mathbf{g} \mathbf{c}. \quad (8)$$

Látható a (6) egyenlet alapján, hogy a \mathbf{g} mátrix (a geofizikai inverzióban szokásos elnevezéssel Jacobi-mátrix) elemei komplex számok.

Ezen a ponton a Fourier-transzformáció egyszerűen beilleszthető az inverz feladat problémakörébe. A modellparaméterek száma M , a jel diszkrét időpontban mért mintáinak száma N . Ha jól választjuk meg a bázisfüggvényeket, elérhetjük, hogy az adataink számától akár jóval kisebb számú sorfejtési tag (ugyanennyi együttható) elegendő pontossággal közelítse a spektrumot. Ebben az esetben $N > M$, azaz a problémát túlhatározott inverz feladatként fogalmazhatjuk meg, ami megnyitja előttünk a geofizikai inverzió zajelnyomásra kidolgozott eszköztárát.

A számított adatokhoz hasonlóan a k -adik mért adatot $x_k^{(\text{mért})}$ -ként jelölve vezessük be a mért adatok vektorát: $\mathbf{x}^{(\text{mért})}$. A mért és számított adatok

$$\mathbf{e} = \mathbf{x}^{(\text{mért})} - \mathbf{x}^{(\text{elm})}$$

eltérésvektorának normája fontos szerepet játszik az inverzióban. Ha az ún. L_2 -normát választjuk, akkor az

$$\begin{aligned} E_2 &= \sum_{k=1}^N e_k^2 = \sum_{k=1}^N (x_k^{(\text{mért})} - x_k^{(\text{elm})})^2 \\ &= \sum_{k=1}^N \left(x_k^{(\text{mért})} - \sum_{i=1}^M c_i G_{ki} \right)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

sorfejtési együtthatóktól függő skálához jutunk, amelynek minimumával definiáljuk a túlhatározott inverz feladat megoldását. A minimum feltétele a

$$\frac{\partial E_2}{\partial c_l} = 0, \quad (l = 1, \dots, M)$$

egyenletrendszer teljesülése. Mint ismeretes, ekkor a Gauss-féle legkisebb négyzetek (LSQ) módszerének

$$\mathbf{g}^T \mathbf{g} \mathbf{c} = \mathbf{g}^T \mathbf{x}^{(\text{mért})} \quad (10)$$

normálegyenlet-rendszeréhez jutunk, amelynek megoldásával

$$\mathbf{c} = (\mathbf{g}^T \mathbf{g})^{-1} \mathbf{g}^T \mathbf{x}^{(\text{mért})} \quad (11)$$

a sorfejtési együtthatók rendszere előállítható, és a spektrum a (3) kifejezéssel (az ismert bázisfüggvényeket felhasználva) tetszőleges frekvencián számítható (itt a -1 kitevő mátrix-inverziót jelöl). A Fourier-transzformált ezen, legkisebb négyzetek elvét alkalmazó változatát nevezzük legkisebb négyzetek elve szerinti Fourier-transzformációnak, és jelölje ezt az eljárást az LSQ-FT rövidítés.

A (10) egyenletrendszer megoldásakor elvégzendő kritikus művelet az egyenletrendszer $\mathbf{g}^T \mathbf{g}$ mátrixának numerikus módszerekkel történő invertálása. A mátrix invertálásának végrehajtása közben keletkező numerikus hiba erősen befo-

lyásolja az egyenletrendszer megoldásával kapott eredmény megbízhatóságát. A különböző módon képzett kondíciós számokkal lehet jellemezni azt a kockázatot, amelyet az adott mátrix numerikus invertálása jelent az egyenletrendszer megoldásának megbízhatósága szempontjából. Az egyik leggyakrabban alkalmazott kondíciós szám, amely a mátrix legnagyobb és legkisebb sajátértékének az arányával azonos [GALÁNTAI A., JENEI A. 2008], a következőképpen írható fel:

$$K = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}. \quad (12)$$

Minél nagyobb a kondíciós szám értéke, annál rosszabbul kondicionált a probléma, ami azt jelzi, hogy már a bemenet kismértékű megváltozása is érzékenyen érinti a probléma egyenletrendszerének megoldását. Természetesen ez a nagyság relatív módon értelmezendő, és környezetfüggő (azaz, alapvetően a számítógép aritmetikájától és a közelítés megkövetelt pontosságától függ) [GALÁNTAI A., JENEI A. 1988]. A nagyságrendileg 1-hez közeli értékek azonban nagyon jó kondicionáltságra utalnak minden esetben.

Ha az adatsort terhelő véletlen zaj eloszlása jelentősen eltér a Gauss-eloszlásútól, vagy a többféle forrásból származó eltérő eloszlású zajok hatása együttesen érvényesül, akkor a legkisebb négyzetek elve nem ad optimális becslést. Ilyenkor a hibaeloszlások szélesebb tartományán is jó eredményeket szolgáltatató, ún. robusztus inverziós eszközök alkalmazására van szükség. A kiugró adatokat tartalmazó adatrendszerek inverziójára a (9)-ben bemutatott norma helyett alkalmasabbnak mutatkozik az ún. L_1 -norma:

$$E_1 = \sum_{k=1}^N |e_k| = \sum_{k=1}^N \left| x_k^{(\text{mért})} - \sum_{i=1}^M c_i G_{ki} \right|.$$

Az ennek minimalizálásával kidolgozott eljárás a legkisebb abszolút érték módszer (angol rövidítéssel LAD). Az eljárást az iteratív újrásúlyozás módszerével az igen egyszerűen algoritmizálható, súlyozott legkisebb négyzetek módszerére vezették vissza SCALES és szerzőtársai (*Iteratively Reweighted Least Squares Method*, rövidítve IRLS) [SCALES J. A. et al. 1988]. A módszer nevét onnan kapta, hogy a megoldást iteratív úton állítja elő, és az egyes iterációs lépésekben az előző lépés eredménye alapján számított eltérésvektor elemeinek felhasználásával számít súlyokat, melyeket az adott iterációban (az ismeretlenektől független) konstansoknak tekinthetünk. Ezáltal az IRLS módszer alkalmazható olyan esetekben is, amikor a minimalizálandó függvény az inverziós változóktól függő súlyokat tartalmaz.

Az adattérben számított súlyokat alkalmazó eljárások közül kiugró adatok kezelésére vonatkozó hatékonyságával tűnik ki a Cauchy-féle súlyozás, melynek alakja a következőképpen írható fel

$$w_k = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 + e_k^2}. \quad (13)$$

A formulában szereplő ε a Cauchy-eloszlás skálaparamétere, az e_k eltérésvektor k -adik eleme. Mivel e_k az inverziós változókat is tartalmazza, a w_k súlyokkal definiált norma

$$E_C = \sum_{k=1}^N w_k e_k^2 \quad (14)$$

nem kvadratikusság, így minimalizálása nemlineáris egyenletrendszerre vezet, amely az IRLS módszerrel oldható meg. Ennek tipikus, j -edik iterációs lépésében a súlyokat az előző $(j-1)$ -edik lépés eredményei alapján számítjuk. Ezáltal a \mathcal{W} súlymátrix (az adott iterációban) ismert konstansnak tekinthető, így az iterációnként megoldandó normálegyenlet a súlyozott legkisebb négyzetek egyenletrendszere:

$$\mathcal{G}^T \mathcal{W}^{(j-1)} \mathcal{G} \mathbf{c}^j = \mathcal{G}^T \mathcal{W}^{(j-1)} \mathbf{x}^{(\text{mért})}.$$

Az így definiált Cauchy-inverzió a geofizikai inverzióban gyakran alkalmazott – a kiugró hibákat is tartalmazó mérési adatrendszer inverziójára kiválóan alkalmas – módszerként ismert. Az algoritmushoz természetesen megfelelő leállási kritériumot kell megfogalmazni. Az inverz Fourier-transzformációnak a fentiek szerint kialakított robusztus módszerét iteratív újrásúlyozás elve szerinti Fourier-transzformációnak nevezzük, és az angol elnevezés (*Iteratively Reweighted Least Squares*) kezdőbetűi alapján az IRLS-FT rövidítés-sel jelöljük.

A spektrum diszkretizálása Hermite függvényrendszerrel

A sorfejtéses geofizikai inverzióban az ismeretlen paraméterek számának csökkentése és az inverziós feladat numerikus stabilitásának javítása érdekében leginkább az ortogonális függvényrendszereket alkalmazzuk a folytonos függvényekkel leírható mennyiségek diszkretizálása során. A $\{\Phi_i; i = 1, 2, \dots\}$ ortogonális függvényrendszer tagjai négyzetesen integrálhatók az Ω értelmezési tartományukon, és teljesítik az alábbi két feltételt [KORN G. A., KORN T. M. 1961]:

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} \Phi_m(t) \Phi_n(t) dt &= 0, \quad m \neq n, \\ \int_{\Omega} \Phi_m(t) \Phi_n(t) dt &\neq 0, \quad m = n. \end{aligned} \quad (15)$$

A teljes ortogonális rendszerek olyan függvénytartományokat alkotnak, amelyek már nem bővíthetők további, az ortogonalitás (15) feltételeit kielégítő függvényekkel. Ha a frekvenciaspektrumot valamely teljes ortogonális függvényrendszer felhasználásával kívánjuk közelíteni, akkor figyelembe kell vennünk a közelítendő függvény értelmezési tartományát. Az (1) és (2) formula szerint a frekvenciaspektrum általános esetben a valós számok $(-\infty, \infty)$ intervallumán értelmezett. Ennek megfelelően olyan függvényrendszert kell választani, amely ugyanezen a tartományon képez teljes ortogonális rendszert. Az Hermite függvényrendszer eleget tesz ennek a követelménynek, ezért a diszkretizálás (3)-ban általánosan jelölt bázisfüggvényrendszerét e szerint választottuk. A függvényrendszer i -edik tagja a következő alakban adható meg [GRÖBNER W., HOFREITER N. 1958]:

$$H_i(f; a) = \frac{e^{-\frac{1}{2}af^2} P_{i-1}^H(f; a)}{\sqrt{(2a)^{(i-1)}(i-1)! \sqrt{\pi/a}}}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (16)$$

ahol P_{i-1}^H az $(i-1)$ -ed fokú Hermite-polinom, $\rho^2(f, a) = \exp\{-(1/2)af^2\}$ pedig az ortogonalitást biztosító súlyfüggvény. Az $a > 0$ valós szám (a továbbiakban skálázó tényező) fontos szerepet kap a vizsgált folyamat frekvenciaspektrumának közelítésére leginkább alkalmas spektrális modell ki-

alakításában. A (16) formula nevezőjében szereplő kifejezés a polinom fokszámától és a skálázó tényezőtől egyaránt függő normáló tényező, amely biztosítja, hogy a függvényrendszer bármely tagjának normája egységnyi legyen:

$$\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} H_i^2(f; a) df} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (17)$$

azaz a bázisfüggvényrendszer nemcsak ortogonális, de ortonormált is. Az Hermite függvényrendszer felhasználásával a frekvenciaspektrum sorfejtéses diszkretizálása (3) szerint az

$$X(f) = \sum_{i=1}^M c_i H_i(f),$$

a Jacobi-mátrix elemei pedig a (6) formula alapján a

$$G_{ki} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}af^2} P_{i-1}^H(f; a) e^{j2\pi f t_k} df}{\sqrt{(2a)^{(i-1)}(i-1)! \sqrt{\pi/a}}}, \quad (18)$$

alakban írhatók. A (18) összefüggésben szereplő integrál előállítható a polinom tagjaiból képzett integrálok összegeként. Mivel az Hermite-polinomokban a változó f^q alakban szerepel, a továbbiakban elegendő az alábbi formában felírható integrálok kiszámításával foglalkozni:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^q e^{j\beta f} df &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^q \cos \beta f df \\ &+ j \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^q \sin \beta f df, \end{aligned} \quad (19)$$

melyben a q kitevő pozitív egész és nulla, az α pozitív valós, a β pedig tetszőleges valós értékeket vehet fel. A q kitevő páros és páratlan értékű is lehet, aminek a trigonometrikus függvényekkel felírt integrálok értéke szempontjából van jelentősége. A Jacobi-mátrix elemeit az így meghatározott integrálok (ismert konstansokkal számított) lineáris kombinációként állíthatjuk elő. Vezessük be a

$$q = 2n + m, \quad m = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

jelölést, amellyel a páros és páratlan kitevőértékek egyértelműen azonosíthatók. Ha $m = 1$, azaz a q kitevő értéke páratlan, akkor a páros és páratlan függvények szimmetrikus intervallumon vett integráljára vonatkozó szabályok alkalmazásával az integrálkifejezés a következő alakra egyszerűsödik:

$$2 \int_0^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^{2n+m} \sin \beta f df. \quad (20)$$

Az $m = 0$ esetben q páros, ekkor hasonlóan egyszerű integrál áll elő:

$$2 \int_0^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^{2n+m} \cos \beta f df. \quad (21)$$

A két integrál analitikusan számítható [CAMPBELL G. A., FOSTER M. 1948] a következő összefüggés szerint:

$$\begin{aligned} &\int_0^{\infty} e^{-\alpha f^2} f^{2n+m} \begin{Bmatrix} \sin \beta f \\ \cos \beta f \end{Bmatrix} df \\ &= (-1)^n \sqrt{\pi} 2^{-2n-1-m} \alpha^{-(2n+1+m)/2} \\ &\times e^{(-\beta^2/4\alpha)} P_{2n+m}^H\left(\frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}; 1\right). \end{aligned} \quad (22)$$

Az összefüggésben szereplő P_{2n+m}^H az $a = 1$ skálázó tényezőjű, $(2n + m)$ -ed fokú Hermite-polinomot jelöli. Ennek alapján a \mathcal{G} mátrix komplex értékű elemei közvetlenül számíthatók, amelyeknek birtokában a szintén komplex sorfejtési együtthatók (mint ismeretlen paraméterek) is előállíthatók a megfelelően választott inverziós eljárás normálegyenlet-rendszerének megoldásával.

Az Hermite függvényrendszer súlyfüggvényének értéke a független változó (f) abszolút értékének növekedésével a nullához tart. Ennek következtében az Hermite függvényrendszer csak olyan jelek frekvenciaspektrumának közelítésére alkalmas, amelyek jó közelítéssel sávkorlátozottak tekinthetők az időtartománybeli regisztrálás felbontóképessége által meghatározott véges frekvenciatartományon belül. A súlyfüggvény lecsengésének mértékét az a skálázó tényező értéke szabja meg, amelynek nagyon fontos szerepe van a frekvenciaspektrum közelítésének pontossága terén. A különböző jelenségekhez kapcsolódó frekvenciaspektrumok ugyanis a skálázó tényező különböző értékei mellett közelíthetők legjobban, megegyező számú tagból képzett függvény sorok felhasználásával.

A vizsgálatok során felhasznált jelek bemutatása

A kidolgozott, új Fourier-transzformációs módszerek alkalmazhatóságának numerikus vizsgálata céljából, a véges energiájú és jó közelítéssel sávkorlátozottak tekinthető jeleknek egy olyan csoportját választottuk, amelynek időtartománybeli és frekvenciatartománybeli megjelenési formáit leíró függvények analitikusan előállíthatók. A választott időfüggvény általános alakja

$$x(t) = \kappa t^\eta e^{-\lambda t} \sin(\omega t + \varphi), \quad (23)$$

melyben η pozitív egész szám vagy nulla, λ pozitív valós szám, κ és ω valós szám, φ pedig a $[0, \pi/2]$ tartománybeli valós szám lehet.

Az $x(t)$ időfüggvény $X(p)$ Laplace-transzformáltját a transzformációs táblázatok alapján magasabb szintű matematikai műveletek végrehajtása nélkül lehet képezni [ERDÉLYI A. et al. 1954]. A Fourier- és a Laplace-transzformáció közötti kapcsolatot megteremtő $p = j2\pi f$ helyettesítés alapján a jelcsoport $X(f)$ frekvenciaspektruma is előállítható. A (23) formulában szereplő görög betűkkel jelölt paraméterek

értékeinek rögzítése mellett kétféle jelet választottunk az Hermite függvényrendszerrel diszkrétizált inverz Fourier-transzformációs eljárás (H-IFT) vizsgálatára. A jelek időtartománybeli mintavételezése, $\Delta t = 0,005$ s, és a regisztrálás tartománya, $|t| \leq 1$ s, mindkét esetben azonos volt. Az első (I.) jel $x_1(t)$ -vel jelölt impulzus időfüggvényének képe a 8. ábrán látható, és paramétereinek értékei sorrendben a következők: $\lambda = 40$, $\kappa = 1/\bar{x}$, $\eta = 6$, $\omega = 0$, $\varphi = \pi/2$. A κ paraméter értékének előállításához felhasznált \bar{x} mennyiség az időfüggvény burkológörbéjének a maximumát jelöli, amely a következő összefüggés alapján számítható:

$$\bar{x} = t^n e^{-\alpha t} \Big|_{t=n/\alpha}.$$

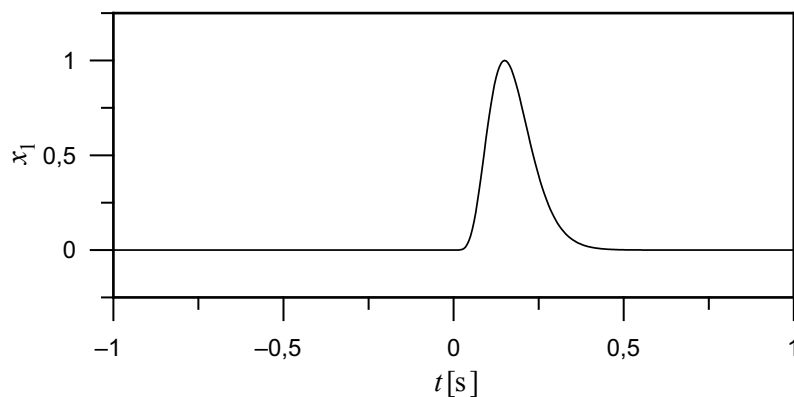
A κ paraméter ilyenformán történő előállításával az időfüggvény értékkészlete a $[-1, 1]$ intervallumra korlátozódik.

A 9. ábra a jel frekvenciaspektrumának valós és képzetes részét mutatja be az $|f| \leq 20$ Hz tartományban. Az ábrán látható, hogy a jel jó közelítéssel sávkorlátozott, mivel a 10 Hz-nél (abszolút értékben) nagyobb frekvenciájú összetevői már csak nagyon kis amplitúdóval vannak jelen.

A második jelet (II.) a $\lambda = 20$, $\kappa = 1/\bar{x}$, $\eta = 2$, $\omega = 2\pi \cdot 20$, $\varphi = \pi/4$ paraméterekkel definiáltuk. A κ paraméter értékének számítása az első jelhez hasonlóan történt. Az így előálló zajmentes jelet az 1. ábrán, a Gauss-zajjal terhelt változatát a 4. ábrán már bemutattuk a DFT zajérzékenységeinek szemléltetését szolgáló szakaszban. A II. jel 2. ábrán megjelenő frekvenciaspektrumán látható, hogy a jel kialakításában lényeges szerepet játszó harmonikus összetevők frekvenciasávja az I. jelhez képest (9. ábra) eltolódott a nagyobb értékek felé. Emiatt a II. jel frekvenciaspektrumának megjelenítése, az előző esettel megegyező frekvenciatartománybeli felbontás mellett, kétszer olyan hosszú tartományban történt ($|f| \leq 40$ Hz).

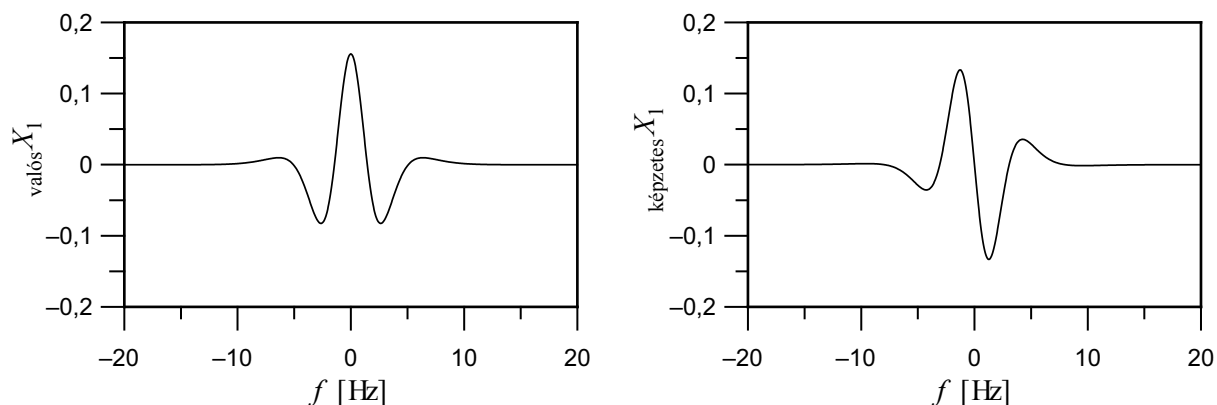
Az eredmények minősítésére szolgáló mennyiségek

Mielőtt az inverz Fourier-transzformációval (I-FT) kapott eredmények bemutatására térnénk, vezessünk be olyan skáláris mennyiségeket, melyekkel az inverzió eredményének jóságát jellemezhetjük. Mivel a fenti példákban az elméleti spektrum analitikusan ismert, számíthatjuk az inverz Fourier-transzformációval becsült spektrum ettől való eltérésvektorát



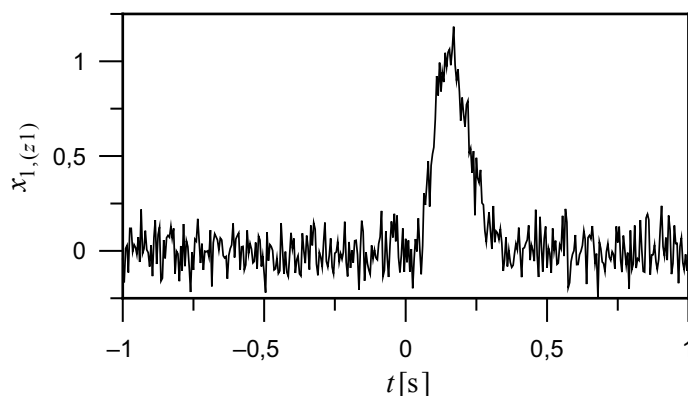
8. ábra. Az I. jel időfüggvénye

Fig. 8. The time domain representation of signal I



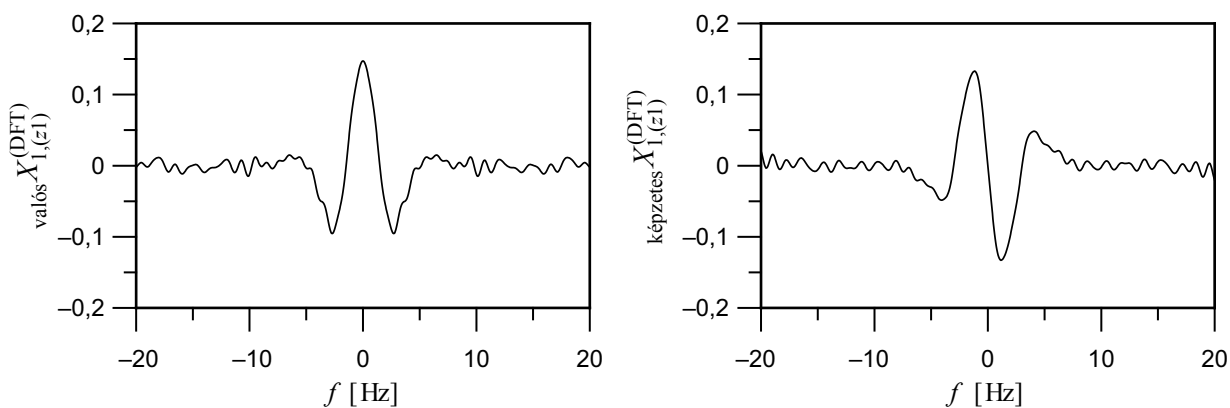
9. ábra. Az I. jel frekvenciaspektruma

Fig. 9. The two parts of the frequency spectrum of signal I



10. ábra. Az I. jel Gauss-eloszlású zajjal terhelve (I^z1)

Fig. 10. The time domain representation of signal I distorted by Gaussian noise (I^z1)



11. ábra. Az I^z1 jel DFT-vel számított frekvenciaspektrumának valós és képzetes összetevője

Fig. 11. The two parts of the DFT-computed frequency spectrum of signal I^z1

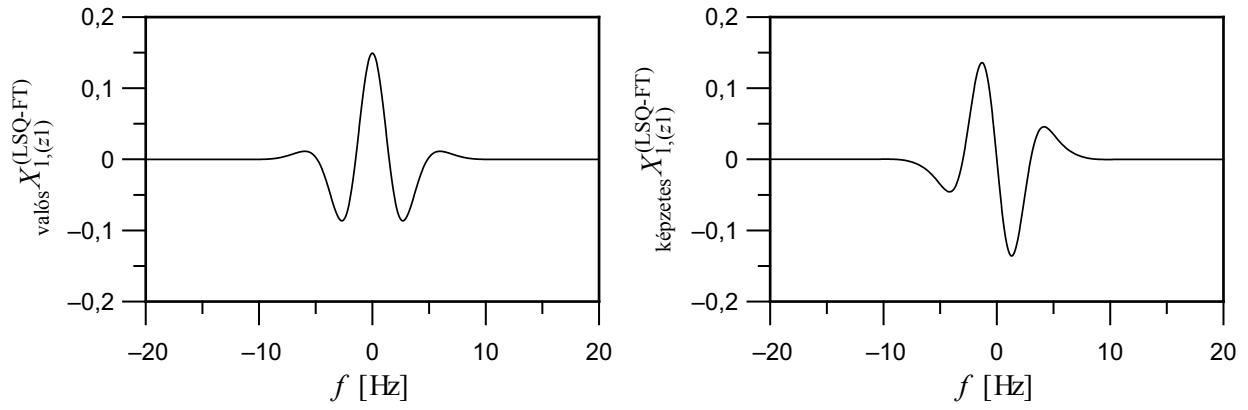
$$\mathbf{e}^{(f)} = \mathbf{X}_{\text{számított}} - \mathbf{X}_{\text{elméleti}}, \quad (24)$$

ill. ennek normájaként bevezetjük a modelltávolságot

$$D_f = \sqrt{N_f^{-1} \sum_{i=1}^{N_f} |e_i^{(f)}|^2}, \quad (25)$$

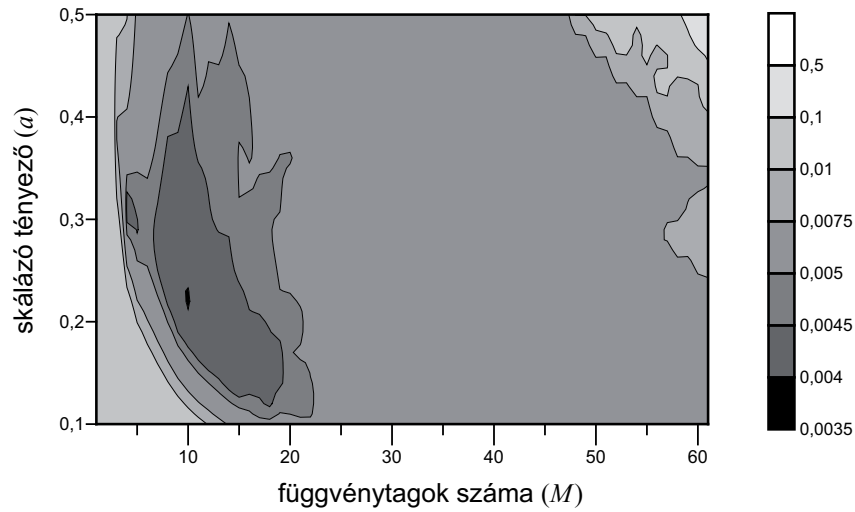
amely az egzakt, ill. a becsült spektrum (modell) eltérését egyetlen skálárban méri (N_f az összehasonlításra kijelölt frekvenciapontok száma).

A Fourier-transzformáció inverz feladatára történő visszavezetésével azonban nemcsak a frekvenciaspektrumnak egy közelítését (becslés) lehet előállítani, hanem a sorfejtési együtthatókból képzett \mathbf{e} vektort behelyettesítve a direkt feladat (8) összefüggésébe számított időfüggvény is előállítható, amely a spektrum ismeretében végrehajtott inverz Fourier-transzformáció eredményének tekinthető. Ennek segítségével az időtartományban kétféle adattávolságot definiálhatunk. Egyrészt számíthatjuk a „mért” (zajjal terhelt szinte-



12. ábra. Az I^{z1} jel LSQ-FT módszerrel kapott frekvenciaspektruma

Fig. 12. The two parts of the LSQ-FT-computed frequency spectrum of signal I^{z1}



13. ábra. A frekvenciatartománybeli eltérésjellemző D_f értékének alakulása az a és M paraméterek függvényében az I^{z1} jel esetében

Fig. 13. The dependence of the model distance D_f on the parameters a and M for signal I^{z1}

tikus) adatok és a spektrum ismeretében számított adatok távolságát,

$$d_t = \sqrt{N^{-1} \sum_{k=1}^N (x_k^{(\text{mért})} - x_k^{(\text{becsült})})^2}, \quad (26)$$

amely az adatrendszert terhelő zajt jellemzi. Ennél érdekesebb az inverz Fourier-transzformációval számított adatrendszer és az elméleti formula alapján számított (zajmentes) adatrendszer közötti távolság,

$$D_t = \sqrt{N^{-1} \sum_{k=1}^N (x_k^{(\text{egzakt})} - x_k^{(\text{becsült})})^2}, \quad (27)$$

mivel ez a skálár arra jellemző, hogy az inverzióval előállított spektrumon számított adatrendszer mennyiben „szabadult meg” a zajtól, azaz az inverz Fourier-transzformációval milyen mértékű zajelnyomás valósítható meg.

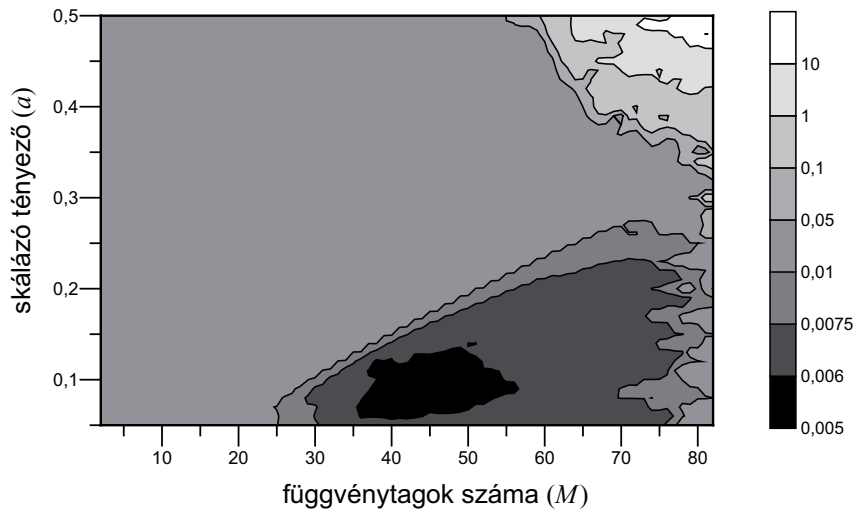
Az LSQ-FT módszer vizsgálata Gauss-eloszlást követő zajjal terhelt jelek esetében

Mint azt az előzőekben már bemutattuk, az LSQ-FT módszer túlhatározott, lineáris inverz feladat megoldására épül. Az eljárás zajérzékenységének vizsgálatára zajjal terhelt

adatrendszereket generáltunk $\sigma = 0,1$ szórású Gauss-eloszlást követő $z1$ hiba értéksort hozzáadva a már bemutatott két jel időtartománybeli adatsorához. A 10. ábrán látható az I jel zajos változatának (I^{z1}) időtartománybeli képe, melynek a hibamentes adatrendszertől (I) való eltérését jellemző adattávolság: 0,09405. Ennek a jelnek a DFT-vel számított $X_{I,1}^{(\text{DFT})}$ frekvenciaspektrumát mutatja be a 11. ábra. Az elméleti frekvenciaspektrumhoz viszonyított eltérést jellemző érték (modelltávolság): $D_{f,1,(z1)}^{(\text{DFT})} = 0,00873$. Mivel az inverz DFT a bemenő jelet egzaktul előállítja, az adattérben definiált távolság $D_{t,1,(z1)} = 0,09405$.

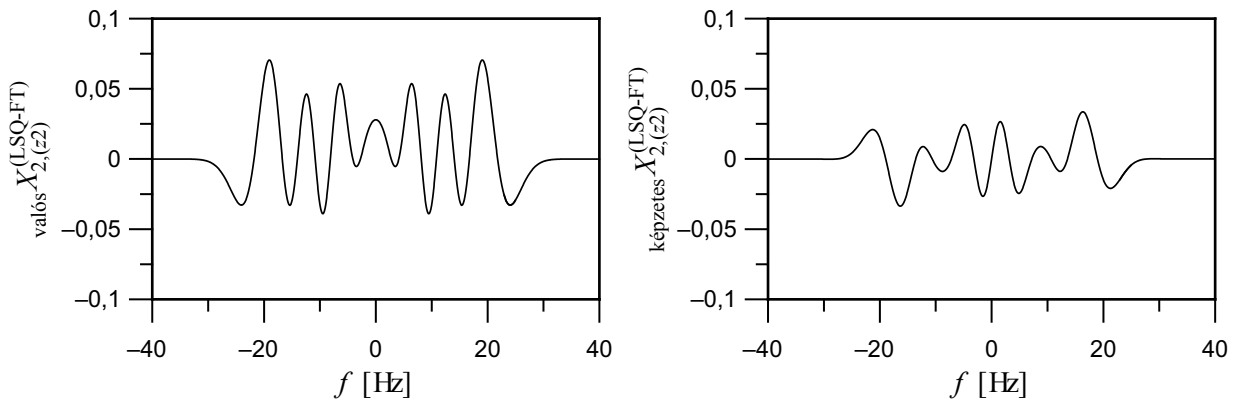
Az LSQ-FT módszer alkalmazásával kapott eredményt a 12. ábrán mutatjuk be. Az elméleti spektrumot szemléltető 9. ábrával összevetve vizuálisan alig észlelhető különbség. A DFT által ugyanezen adatrendszeren nyújtott eredményhez képest jelentős javulás látható, noha a frekvenciatérben számított távolság csupán egy kettes faktossal javult: $D_{f,1,(z1)}^{(\text{LSQ-FT})} = 0,00398$.

Az LSQ-FT spektrumot felhasználva, a direkt feladat megoldásával időtartományba visszaszámított adatsor eltérése is jelentősen lecsökkent: $D_{t,1,(z1)}^{(\text{LSQ-FT})} = 0,01781$, amely a DFT-hez képest mintegy 5-ször kisebb. Ezek az eredmények tehát összhangban vannak azzal az elvárással, miszerint az



14. ábra. Az LSQ-FT-vel kapott D_f modelltávolság függése az a és az M paraméterektől a Π^{z1} jel esetében

Fig. 14. The dependence of the model distance D_f obtained by LSQ-FT on the parameters a and M for signal Π^{z1}



15. ábra. A Π^{z2} adatrendszer LSQ-FT módszerrel kapott frekvenciaspektruma

Fig. 15. The two parts of the LSQ-FT-computed frequency spectrum of the dataset Π^{z2}

LSQ-FT módszer – amely a Fourier-transzformációt mint túlhatározott inverz feladatot kezeli – lehetőséget teremt a zaj hatásának csökkentésére.

A 13. ábrán a frekvenciatartománybeli eltérésjellemző (D_f) értékének az a és M paraméterektől való függése tanulmányozható. A térképen jól látható, hogy a legkedvezőbb frekvenciaspektrum-közelítést eredményező fekete tartomány kiterjedése ugyan egészen kicsi, de a közelítés szempontjából szintén jónak minősülő sötétszürke terület már jóval nagyobb. Ennek elhelyezkedése és alakja arra enged következtetni, hogy egyrészt a skálázó tényező viszonylag széles tartományban képes jó eredményt biztosítani, másrészt a kevesebb Hermite függvénytag használata a spektrális modell kialakításában ismét előnyösebbnek mutatkozik a hibákkal terhelt adatrendszerek esetében.

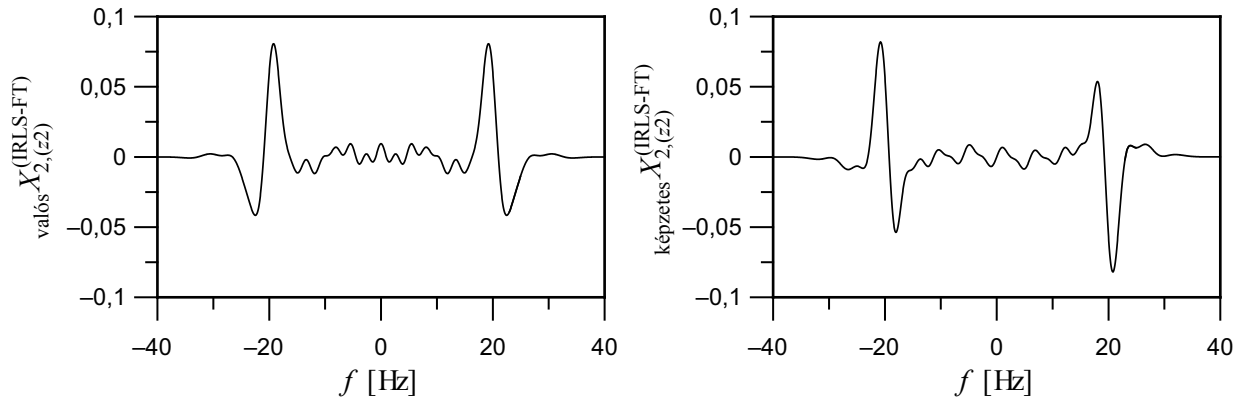
A Π jel $z1$ zajjal terhelt változatánál (Π^{z1}) az időtartománybeli eltérésjellemző 0,1032 értéket vett fel. A DFT alkalmazása az 5. ábrán már bemutatott spektrumot eredményezte $D_{f,2,(z1)}^{(DFT)} = 0,01075$ modelltávolsággal. Az LSQ-FT módszer alkalmazásával kapott spektrum frekvenciatartománybeli eltérés értéke (az első jelnél tapasztalható hasonlóan) nagyjából fele akkora: $D_{f,2,(z1)}^{(LSQ-FT)} = 0,005479$ ($a = 0,08$, $M = 43$ paraméterek mellett). Az időtartománybeli

illeszkedés is jelentősen javult: $D_{f,2,(z1)}^{(LSQ-FT)} = 0,03468$. A frekvenciatartománybeli eltérésjellemzőnek az a és M paraméterektől való függését mutatja be a 14. ábra.

A gyakorlati alkalmazások szempontjából biztató, hogy a $D_{f,2,(z1)}^{(LSQ-FT)} < 0,0075$ relációnak eleget tevő (kedvező eredményeket produkáló) sötét terület viszonylag nagy. Az elvégzett vizsgálatok eredményei egyértelműen mutatják, hogy Gauss-eloszlású zajjal terhelt adatok esetén az LSQ-FT módszer sokkal kevésbé zajérzékeny, mint a DFT eljárás.

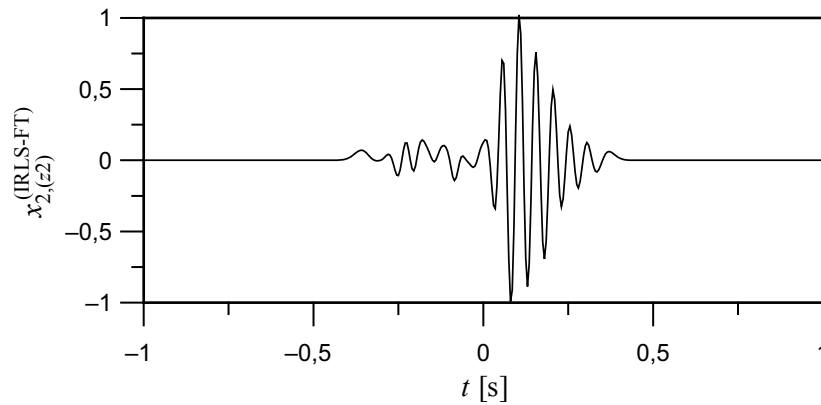
Robusztus Fourier-transzformáció az iteratív újrasúlyozás módszerével: IRLS-FT

A legkisebb négyzetek elve (LSQ) olyan inverz feladatok esetében vezet optimális megoldáshoz, amelyeknél a feldolgozandó jelet terhelő zaj Gauss-eloszlást követ. A gyakorlati adatrendszerek igen sokszor ettől eltérő, sőt olykor nem is ismert eloszlású zajjal terhelték. Ilyen esetekben az LSQ módszer nem ad optimális eredményt. Fontos szerepet kapnak a geofizikai inverzióban azok az eljárások, amelyek erősen zajos vagy ún. kiugró értékeket (*outlier*) tartalmazó adat-sorok esetében is jó eredményt szolgáltatnak.



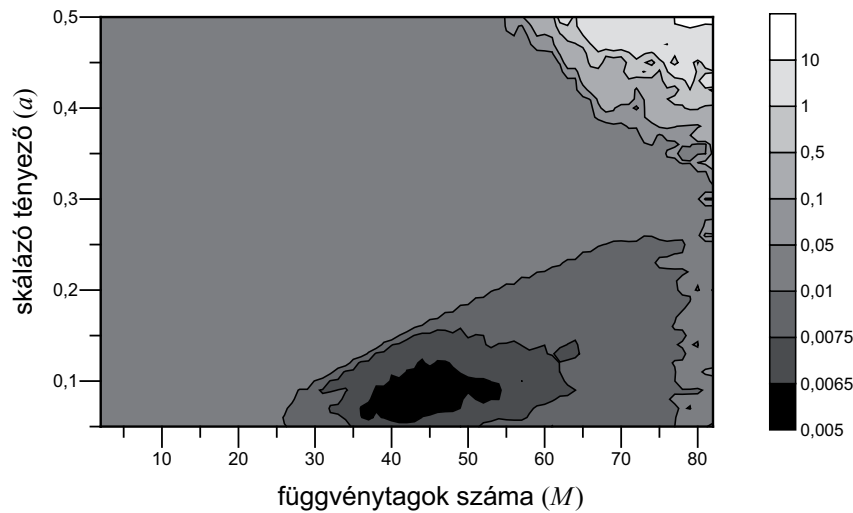
16. ábra. A II^{z2} adatrendszer IRLS-FT módszerrel kapott frekvenciaspektruma

Fig. 16. The two parts of the IRLS-FT-computed frequency spectrum of the dataset II^{z2}



17. ábra. A II^{z2} adatrendszer IRLS-FT-spektruma alapján számított időfüggvény

Fig. 17. The time function determined from the IRLS-FT-computed frequency spectrum of the dataset II^{z2}



18. ábra. Az IRLS-FT esetén kapott D_f modelltávolság függése az a és az M paraméterektől, a II^{z2} jel esetében

Fig. 18. The dependence of the model distance D_f obtained by IRLS-FT on the parameters a and M for signal II^{z2}

Erősen zajos (nem Gauss-eloszlású II^{z2}) adatrendszert úgy állítottunk elő, hogy a 4. ábrán bemutatott II^{z1} adatrendszer véletlenszerűen kiválasztott 10%-át további – az előzőhöz képest jóval nagyobb ($\sigma = 2$) szórású – Gauss-eloszlású zajjal terheltük. Így kaptuk a 6. ábrán korábban már bemutatott II^{z2} adatrendszert. Ennek rendkívül zajos –

fizikai hatásokat alig tükröző – DFT-spektrumát a 7. ábrán mutattuk be. A zaj hatására az elméleti jelhez képest megjelenő eltérés jellemzője időtartományban $D_{t,2,(z2)} = 0,63563$, frekvenciatartományban pedig $D_{f,2,(z2)}^{(DFT)} = 0,062227$. Ezek az értékek az II^{z1} adatrendszerénél tapasztaltakhoz képest lényeges növekedést mutatnak.

A legkisebb négyzetek elvét alkalmazó LSQ-FT módszer ennél a jelnél $D_{f,2,(z2)}^{(LSQ-FT)} = 0,026737$ frekvenciatartománybeli eltérést produkált ($a = 0,05$ és $M = 18$ előzetesen beállított paraméterek mellett). Ez a megoldás az időtartományba visszazámított adatsorra vonatkozóan $D_{t,2,(z2)}^{(LSQ-FT)} = 0,16894$ adattávolság-értéket eredményezett. A 15. ábrán bemutatott LSQ-FT-spektrum – bár a 7. ábrához képest sokkal tisztább – a 2. ábrán látható elméleti spektrumot igen durván közelíti. Ez nem meglepő, hiszen az LSQ módszer csupán Gauss-eloszlású zajt hordozó adatrendszerek inverziójánál ad jó (optimális) eredményt.

A korábbiakban bevezetett Cauchy-súlyokkal definiált (14) norma minimalizálását IRLS módszerrel megvalósító inverziós eljárást a Fourier-transzformált inverziós előállítására is alkalmazhatjuk. Ez a módszer a 6. ábrán látható adatrendszer IRLS-FT inverziójával a 16. ábrán bemutatott spektrumot adja. Ez az eredmény a 7. ábra DFT-spektrumához képest rendkívüli javulást tükröz. A modellávolság $D_{f,2,(z2)}^{(IRLS-FT)} = 0,005984$, amely a DFT-nél kapott értéknél több mint 10-szer, az LSQ-FT-hez viszonyítva pedig 4,5-ször kisebb.

Az IRLS-FT módszer hatékonyságát bizonyítja az is, hogy az IRLS-FT-spektrum felhasználásával kapott időfüggvény távolsága az egzakt (zajmentes) jeltől $D_{t,2,(z2)}^{(IRLS-FT)} = 0,03782$. Ennek jelentősége akkor nyilvánvaló, ha összehasonlítjuk az IRLS-FT alapján kapott, a 17. ábrán látható jelet a zajmentes jellel (1. ábra) a kiugró zajjal terhelt (az IRLS-FT bemenő adatrendszereként használt, a 6. ábrán bemutatott) jelet. Az ábrák alapján megállapíthatjuk, hogy az IRLS-FT algoritmus jelentős zajelnyomási kapacitással rendelkezik.

A 18. ábra mutatja be az IRLS-FT módszer alkalmazásával kapott eredmények minősítésére szolgáló frekvenciatartománybeli eltérésjellemző (modellávolság) értékének változását az a és M előzetesen beállítandó modellparaméterek függvényében. A jó inverziós eredményt kínáló paramétertartomány – a $D_{f,2,(z2)}^{(IRLS-FT)} < 0,0075$ relációval megadható terület – ugyan lecsökkent a 14. ábrán láthatóhoz képest, azonban még így is viszonylag tág lehetőséget ad az előzetesen beállítandó modellparaméterek értékének kedvező megválasztására.

Összefoglalás

A Fourier-transzformáció (FT) nagyon hasznos problémamegoldó eszköznek minősül a jelfeldolgozás területén, azonban nem lehet egzakt módon számítógépi algoritmus formájába önteni. Az FT speciális esetének tekinthető diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) alkalmazásával válik lehetővé a számítógépen is végrehajtható áttérés az időtartományból frekvenciatartományba. A DFT nagyon jó eredményeket ad kedvező jel/zaj-viszonnyal jellemezhető esetekben. Nagyon érzékenyen reagál ugyanakkor az adatokat terhelő hibák megnövekedésére. A Fourier-transzformáció inverziós feladatra történő visszavezetésével lehetővé válik a

méréseket terhelő zajok hatásának csökkentése a frekvenciaspektrum számításakor. A megoldandó inverz feladat középpontjában álló spektrális modell kialakítása az Hermite függvényrendszer szerinti sorfejtésen alapul, és a sorfejtési együtthatók játsszák a diszkrét modellparaméterek szerepét.

A sorfejtésen alapuló modell ismeretlen együtthatóinak meghatározása túlhatározott, lineáris inverz feladat megoldására vezethető vissza. Kétféle inverziós feladatmegoldó eszköz alkalmazásával az *inverz Fourier-transzformáció* (I-FT) két változatát mutattuk be. A *legkisebb négyzetek elve szerinti Fourier-transzformáció* (LSQ-FT) véges energiájú, determinisztikus, Gauss-eloszlású zajt hordozó jelek esetében bizonyult hatékonynak és a DFT-hez képest lényegesen kevésbé zajérzékenynek. Erősen zajos, kiugró hibákkal terhelt adatrendszer esetén az LSQ-FT nem bizonyult kielégítőnek, helyette a jelen dolgozatban bemutatott IRLS-FT módszer ajánlható, amely – amellet, hogy elegendően pontos spektrumot eredményez – jelentős zajelnyomó képességgel is rendelkezik.

Összességében elmondható, hogy megfelelően felvett spektrális modell és jól megválasztott inverziós feladatmegoldó eszköz alkalmazása esetén az *inverz Fourier-transzformáció* nagyon előnyös zajhatást csökkentő tulajdonságot mutatott mind az idő-, mind a frekvenciatartományra vonatkozóan.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott eredményekhez kapcsolódó kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alap az OTKA T049852. és az OTKA 49479. számú projekt keretében támogatta, amit ezúton is megköszönnek a szerzők. További köszönet illeti a Magyar Tudományos Akadémiát az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport létrehozásáért és támogatásáért, a kutatómunka számára nyújtott segítségért.

HIVATKOZÁSOK

- HÜTTE 1993: A mérnöki tudományok kézikönyve. Springer Hungarica Kiadó Kft., ISBN 963 7775 50 1
- ORAN BRIGHAM E. 1974: The Fast Fourier Transform. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-307496-X
- GALÁNTAI A., JENEI A. 2008: Numerikus módszerek. Miskolci Egyetemi Kiadó
- SCALES J. A., GERSZTENKORN A., TREITEL S. 1988: Fast Lp solution of large, sparse, linear systems: Application to seismic travel time tomography. Journal of Comp. Phys. **75**, 314–333
- KORN G. A., KORN T. M. 1961: Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York – Toronto – London
- GRÖBNER W., HOFREITER N. 1958: Integraltafel. Zweiter Teil. Bestimmte Integrale. Springer-Verlag, Wien und Innsbruck
- CAMPBELL G. A., FOSTER M. 1948: Fourier Integrals for Practical Applications. D. Van Nostrand Company, Inc.
- ERDÉLYI A., MAGNUS W., OBERHETTINGER F., TRICOMI F. G. 1954: Tables of Integral Transforms. Volume I, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York – Toronto – London

Regionális gravitációs anomáliák, izosztikus hatások Magyarországon¹

KISS JÁNOS²

A Bouguer-anomáliatérkép az adott terület földtani felépítéséről, a képződmények sűrűségétől függő integrált képet ad. Ez azt jelenti, hogy a felszíntől több, néhányszor tíz kilométeres mélységig minden képződmény együttes gravitációs hatása látszik a Bouguer-anomáliatérképen. Hosszú évtizedek óta a földtani kutatásban – nyersanyagkutatás (kőolaj, földgáz, kőszén vagy bauxit), termásvíz és geotermikus kutatás, valamint a földtani térképezés során – mint alaptérkép került felhasználásra a Bouguer-anomáliatérkép (alkalmazott geofizika). Ennek ellenére a gravitációs anomáliatérképnek van egy olyan összetevője, amellyel eddig nem nagyon foglalkoztunk, pedig hatással lehet a földtani értelmezésekre.

A földtani ismereteink és a földtani értelmezésre használt Bouguer-anomáliatérkép egymásnak ellentmondó medencealjzat-mélységet jeleznek az Alföld területén. A mélyfűrési földtani adatokat elfogadva, az ellentmondás okát a Bouguer-anomáliatérképben, illetve annak alkalmazásában kell keresni (pl. más hatást is látunk, nem csak a medencealjzat felszínének hatását).

A közép-európai Bouguer-anomáliatérképen jól látszik, hogy a Pannon-medence egy gravitációs maximum, ennek oka eddigi ismereteink alapján az, hogy a kéreg kivékonyodik, a köpeny felemelkedik. A Pannon-medencét három-négy oldalról magas hegyek, hegységek és gravitációs minimumok veszik körül. Az általános képletben a tömegvonzás a távolság négyzetével fordítottan arányos, ami azt jelenti, hogy minél közelebb vagyunk a ható objektumhoz, annál erősebb annak gravitációs hatása. Gond van tehát a Kárpátok, Alpok és Dinaridák felszín közeli, nagy sűrűségű képződményeivel (mészkö, dolomit, gránit stb.), mert nem látszik a hatásuk a közép-európai Bouguer-anomáliatérképen! Mi okozza ezt? A cikkben ezekre a kérdésekre – a gravitációs adatok hazai földtani értelmezésének javítása céljából – keresem a választ.

J. KISS: Regional gravity anomalies, isostatic effects in Hungary

The Bouguer anomaly map shows an integrated image of the geological structures of the studied area which depends on the density distribution of the rocks. It means that Bouguer anomaly map gives a summarized gravitational effect of all formations to be found from the surface until a depth of several tens of kilometres.

For several decades the Bouguer anomaly map has been used as an essential base map in geological prospecting for raw materials and thermal water, in geothermal exploration and geological mapping or in other words in applied geophysics. Despite this practice there is a special part of the gravity anomaly field what we have not dealt up to now with, though it may have an effect on geological interpretations.

Geological data and the Bouguer gravity anomaly map used for geologic interpretation (Fig. 1) indicate quite different depths in the case of the basement of Great Hungarian Plain (South-Eastern part of Hungary). Accepting the geological depth data got from boreholes we have an interpretational problem of gravity anomalies (perhaps the gravity anomalies are not caused by basement relief only).

The Bouguer anomaly map of Central Europe shows a gravity maximum above the Pannonian Basin, it is usually interpreted as a thinning of the crust and the up doming of the mantle. The Pannonian Basin is surrounded, from three-four sides, by high hills and mountain ranges and big gravity minimum anomalies. In the general formula, the attraction of gravity is inversely proportional to the square of distance, which means that the closer we are to the effective mass, the stronger the effect we observe. There is an interpretational problem of the Central European Bouguer anomaly map because we cannot see the effect of high density near surface geologic formations of Carpathians, Alps and Dinarides. What can be the reason of that? In this paper, I try to answer that question from the point of view of geologic interpretation of our home gravity anomalies.

Bevezetés

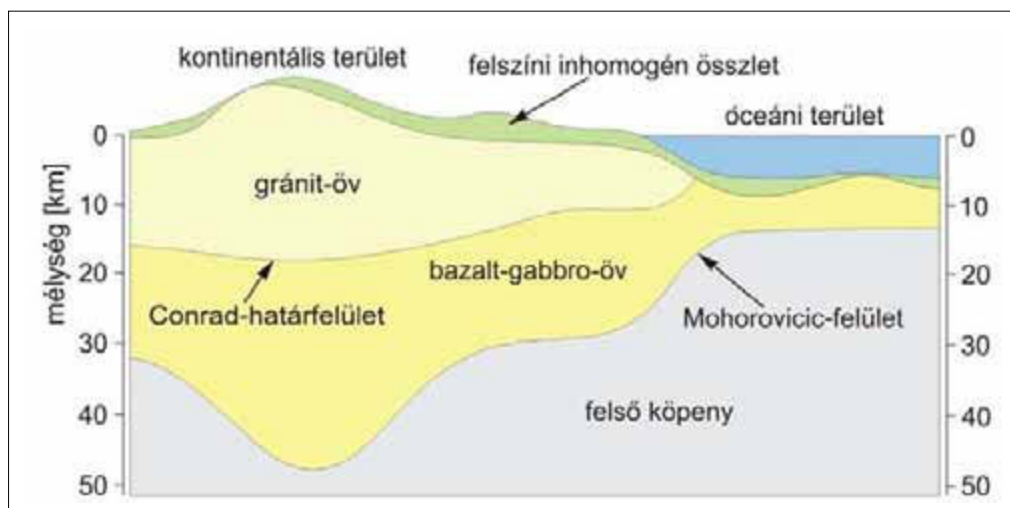
A Kárpát-medence gravitációs anomáliatérképét sokan felhasználták regionális tektonikai értelmezés és/vagy litoszféra kutatás céljából (ezek közül néhányan: SCHEFFER és KÁNTÁS 1949, SCHEFFER 1952, BALKAY 1959, RENNER és

STEGENA 1965, MESKÓ 1983, BIELIK 1988, SZABÓ 1989, BIELIK 1991, ÁDÁM és BIELIK 1998, SZAFIÁN 1999).

Cikkünkben azt vizsgáljuk, hogy milyen regionális hatással kell számolni a Kárpát-medencében, és hogy mennyiben használhatjuk fel a regionális hatásokat – az izosztikus korrekció alkalmazásával – a felső kéreg földtani kutatásának pontosításában. Érdekes kérdésként felmerül, hogy a domborzati adatok alapján kiszámolt izosztikus hatás és a mért Bouguer-értékek közötti különbség milyen mélybeli információt hordozhat a geodinamikai folyamatokkal kapcsolatban.

¹ Beérkezett: 2009. december 3., elfogadva: 2010. március 7.

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, 1145, Budapest, Kolumbusz u. 17–23., E-mail: kiss@elgi.hu



1. ábra. A földkéreg szerkezete a kontinensek és az óceánok alatt [VÖLGYESI 2002]

Fig. 1. Structural sketch of Earth's crust below continents and oceans [VÖLGYESI 2002]

Izosztáziaelmélet

Közismert a Föld izosztázia³- (vagy izosztatikus egyensúly-) elmélete, amelynek két legismertebb változata az AIRY- és a PRATT-féle izosztatikus modell.

PRATT (1855) a hegységeknél csökkent sűrűségű kőzetoszlopokat tételezett fel az egyensúly biztosítására.

AIRY (1855) azt feltételezte, hogy a tengerszint feletti domborzat egyfajta tükörképeként egy mély gyökérzónája is van a hegyeknek. A domborzat és a gyökérzóna azonos gravitációs hatásának köszönhető az izosztatikus egyensúly (mint az úszó test egyensúlya, pl. a jégtáblák a vízen).

Egyik modell sem tökéletes, de talán AIRY elképzelése van közelebb a valósághoz, persze kiegészítve azzal, hogy még a kristályos kőzetek sűrűsége is valamilyen mértékben növekedik a mélységgel.

Több izosztatikus modell is létezik még (pl. Hayford J. F., Browie W., Heiskanen W., Vening Meinesz F. A.), ezek azonban visszavezethetők az előző két modell valamelyikére, ezért ezekkel most részletesen nem foglalkozunk.

Az AIRY-féle elméletből az következik, hogy a magas hegyek alatt mély gyökérzónák nyúlnak bele a köpenybe (1. ábra) a kéregre jellemző kisebb sűrűséggel. A gyökérzónák mélységét a felszíni domborzatból vezethetjük le az alábbi képlet alapján:

$$d_m = (\sigma_t / (\sigma_m - \sigma_c)) h + d_s, \quad (1)$$

ahol

- d_m – kompenzációs mélység,
- d_s – a kéreg átlagos vastagsága,
- σ_t – Bouguer-féle korrekciós sűrűség (2670 kg/m³),
- σ_m – köpenysűrűség (3270 kg/m³),
- σ_c – kéregsűrűség (2670 kg/m³),
- h – domborzat.

Az (1) képletből látható, hogy a topográfiai magasság értéknek durván 4,5-szeresével [HEISKANEN, VENING MEI-

NESZ 1958; SIMPSON et al. 1985] kell számolni a gyökérzónák meghatározása során.

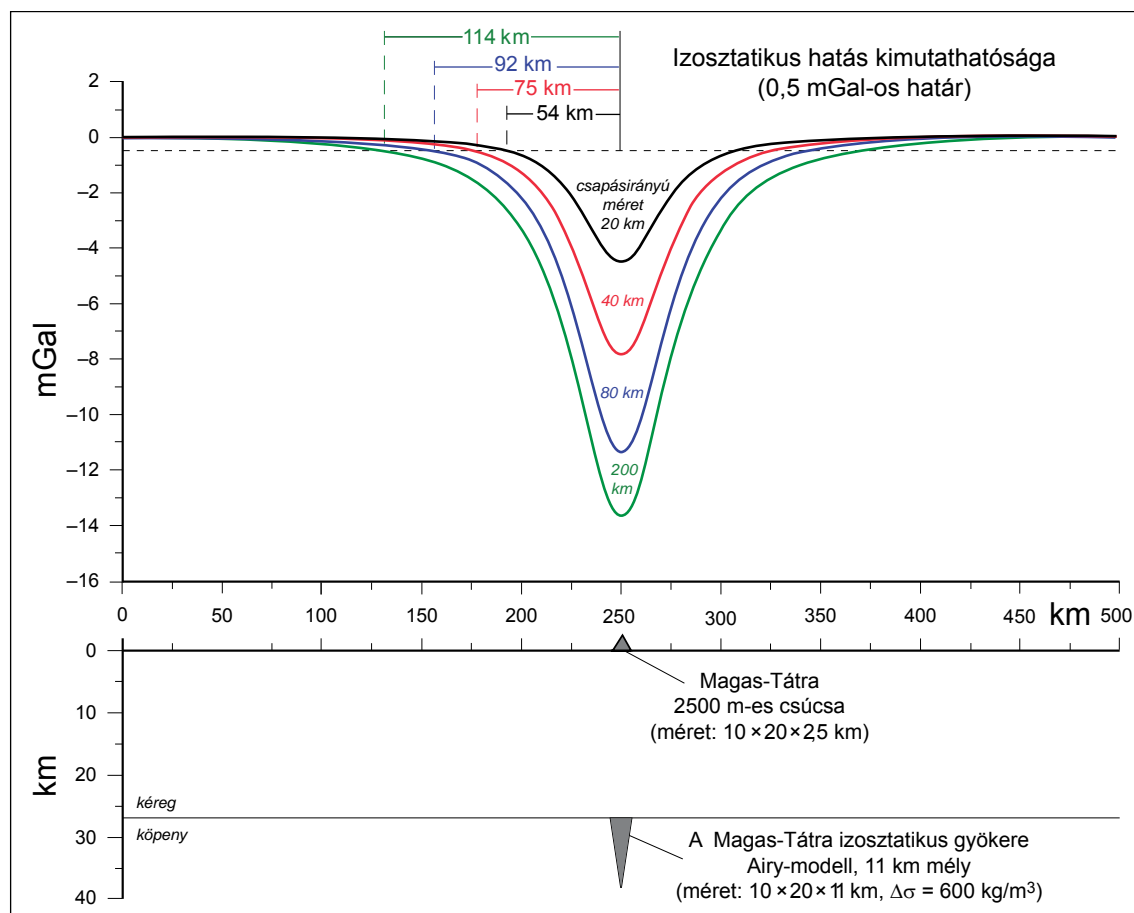
A magas hegyek tehát izosztatikus hatást okoznak, ami abban nyilvánul meg, hogy a hegyek felett – annak ellenére, hogy a nagy sűrűségű medencealjzat-képződmények már a felszíntől jelen vannak – jelentős Bouguer-anomáliaminimumok alakulnak ki. A mély üledékes medencék esetén – a földkéreg kivékonyodása és a köpeny megemelkedése miatt, esetleg a környező nagy minimumok miatt – Bouguer-anomáliamaximumot tapasztalunk.

A gravitációs anomália azért minimum a hegyek esetében, mert a magasság- (Faye-), Bouguer- és topo- (terrain-) korrekciókkal a domborzat tömegvonzási hatását eltávolítottuk, de a kéreg-köpeny határon jelentkező izosztatikus gyökérzónák hatását nem kompenzáltuk. A Bouguer-anomália számításakor elvégzett korrekciókkal a tengerszintre vonatkoztatjuk a mérési eredményeket. A tengerszint alatti tartományból is származnak azonban olyan hatások, amelyeket ki kellene kompenzálni, ahhoz, hogy csak a felső kéreg sűrűséginhomogenitásai jelenjenek meg a Bouguer-anomáliatérképen. Ilyen például az izosztatikus gyökérzónák, illetve a kiemelkedések hatása, amelyek regionális gravitációs anomáliákat (minimumokat, illetve maximumokat) okoznak. Az izosztatikus gyökérzónák és kiemelkedések hullámzó kéreg-köpeny határfelületként jelentkeznek (a Bouguer-anomáliatérképet egy mélységi hatással terhelik), amit a gravitációs adatfeldolgozás során sok esetben ki kellene szűrni!

A magyarországi domborzat

Magyarországon nincsenek nagy hegyek, a mai Magyarország területe egy vízgyűjtő medence. Milyen hatása lehet itt az izosztáziának? – gondolhatnánk. Magyarországon a hegyek mérete miatt nem feltétlenül kellene izosztatikus korrekciót alkalmazni, de a környezetünk izosztatikus hatása – csökkent Bouguer-értékek formájában – megjelenik az ország területén is. Körülöttünk mindenfelé magas hegyek vannak, Ny-ról az Alpok, É-ről és K-ról a Kárpátok, D-ről a Dinári-hegység és az Erdélyi Érchegység magas csúcsai övezik az országot. Minden hegy alatt az izosztázia alapján

³ A görög „ίσος” (iszosz: egyenlő) és „στάσις” (sztászisz: megállás, beállás) szavakból származik, azaz magyarul: egyensúly.



2. ábra. Egy Magas-Tátra magasságú hegy izosztatikus hatása különböző csapásirányú (az ábra síkjára merőleges) méretek esetén (fekete szín mutatja a Tátra valós méretének hatását)

Fig. 2. The isostatic effect in gravity of a mountain like High Tatra (the color lines show the gravity effect at different sizes in strike direction, the black line shows the effect of Tatra's real size)

hatalmas gyökérzónák vannak, amelyek negatív Bouguer-anomáliák formájában jelentkeznek és körbeveszik Magyarországot. Ennek megfelelően a Kárpát-medence az európai Bouguer-anomáliatérképen maximumként jelentkezik, amelyet a környező hegyek negatív izosztatikus anomáliái vesznek körül (és részben okozhatnak). Az ország széleinél erősebben, a közepén gyengébben érződik a gyökérzónák hatása, aminek köszönhetően az ország közepe felé haladva egy relatív maximumot tapasztalunk – amelyet csak a magyarországi gravitációs adatokból kiindulva – az ismert felszín közeli földtani felépítéssel, nem tudunk megmagyarázni (a hatás eredete nagyrészt az országhatáron kívül van).

A Kárpát-medencében a kéreg vastagsága 20–30 km között van. A medencét körülveszi az Alpok–Kárpátok–Dinaridák hegykoszorúja, amelyek alatt a gravitáció alapján izosztatikus gyökérzónák vannak, és a kontinentális kéreg 40–50 km körülire vastagodik ki. Nagy kérdés, hogy a Moho szintjén milyen mozgás volt? A medencében emelkedett-e fel a köpeny, vagy a környezetében, a hegyek alatt az izosztatikus gyökerek miatt mélyült el a kéreg–köpeny határfelület – aminek a következménye a relatív köpenykiemelkedés a medence területén?

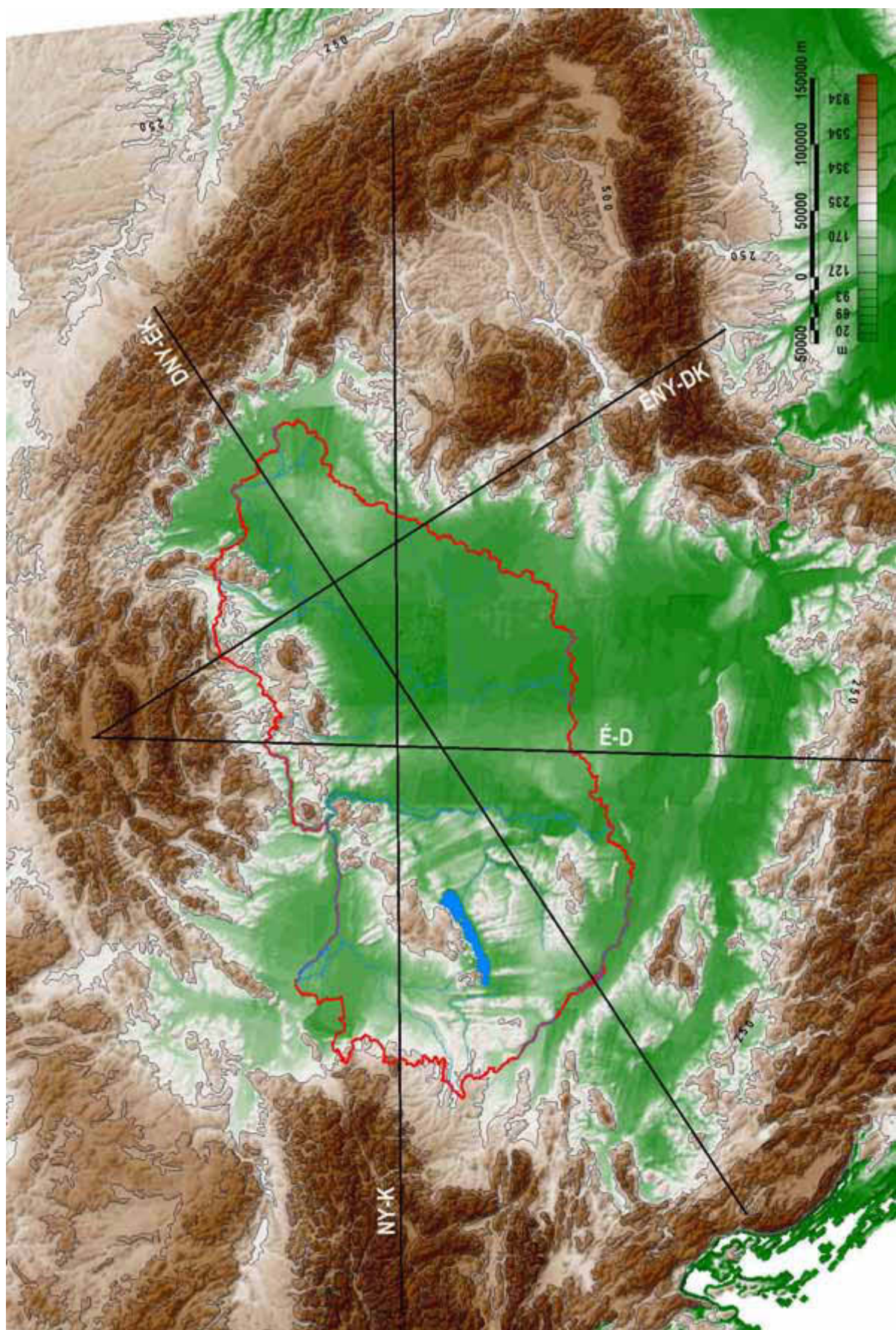
A környező országokhoz képest – ahol a mezozoós, paleozoós alaphegység már a felszíntől jelen van – Magyarországon jelentős mélységű üledékes medence van, feltöltve

fiatal harmad- és negyedidőszaki konszolidálatlan (azaz kis sűrűségű) laza üledékkel. Ebből adódóan, ha az ismert felszín közeli összletekből indulunk ki, akkor gravitációs minimumnak kellene lennie a Kárpát-medencében és gravitációs maximumnak a környező, idősebb kőzetekből álló hegykoszorú területén.

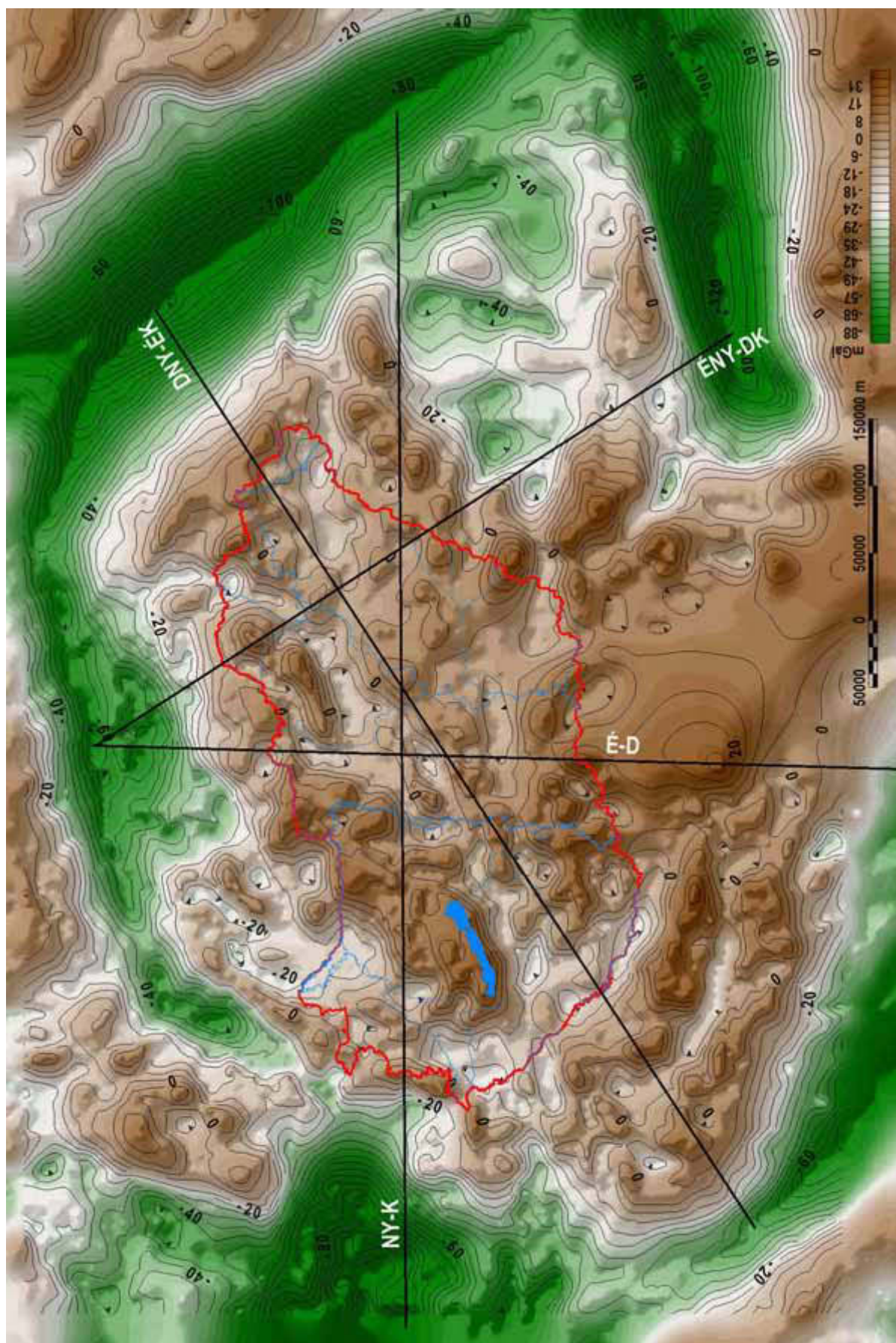
Az izosztázia hatásának mértéke

Az izosztatikus hatások a tankönyvekből (pl. FACSINAY 1952, MESKÓ 1989, VÖLGYESI 2002 stb.) ismertek, de az izosztatikus korrekciót a gyakorlatban nem alkalmazzák a Bouguer-anomáliatérkép pontosítására még a környező országokban sem, pedig a környező magas hegységek jelenléte (pl. Szlovákiában a Kárpátok, Ausztriában az Alpok) ezt erősen indokolná. Lokális földtani problémák megoldása során ez a pozitív vagy negatív regionális hatás hibás gravitációs értelmezéshez fog vezetni. Egészen más a helyzet a litoszférakutatáskor, ahol éppen ennek a regionális hatásnak a vizsgálatával foglalkoznak. Ezt azonban csak az európai szintű programok és adatrendszerek esetén lehet megtenni az anomália térfrekvenciájából adódóan.

A környező országokban nincsenek olyan jelentős vastagságú üledékes medencék, mint a Pannon-medence, ezért nem okoz értelmezési problémát a korrekció hiánya

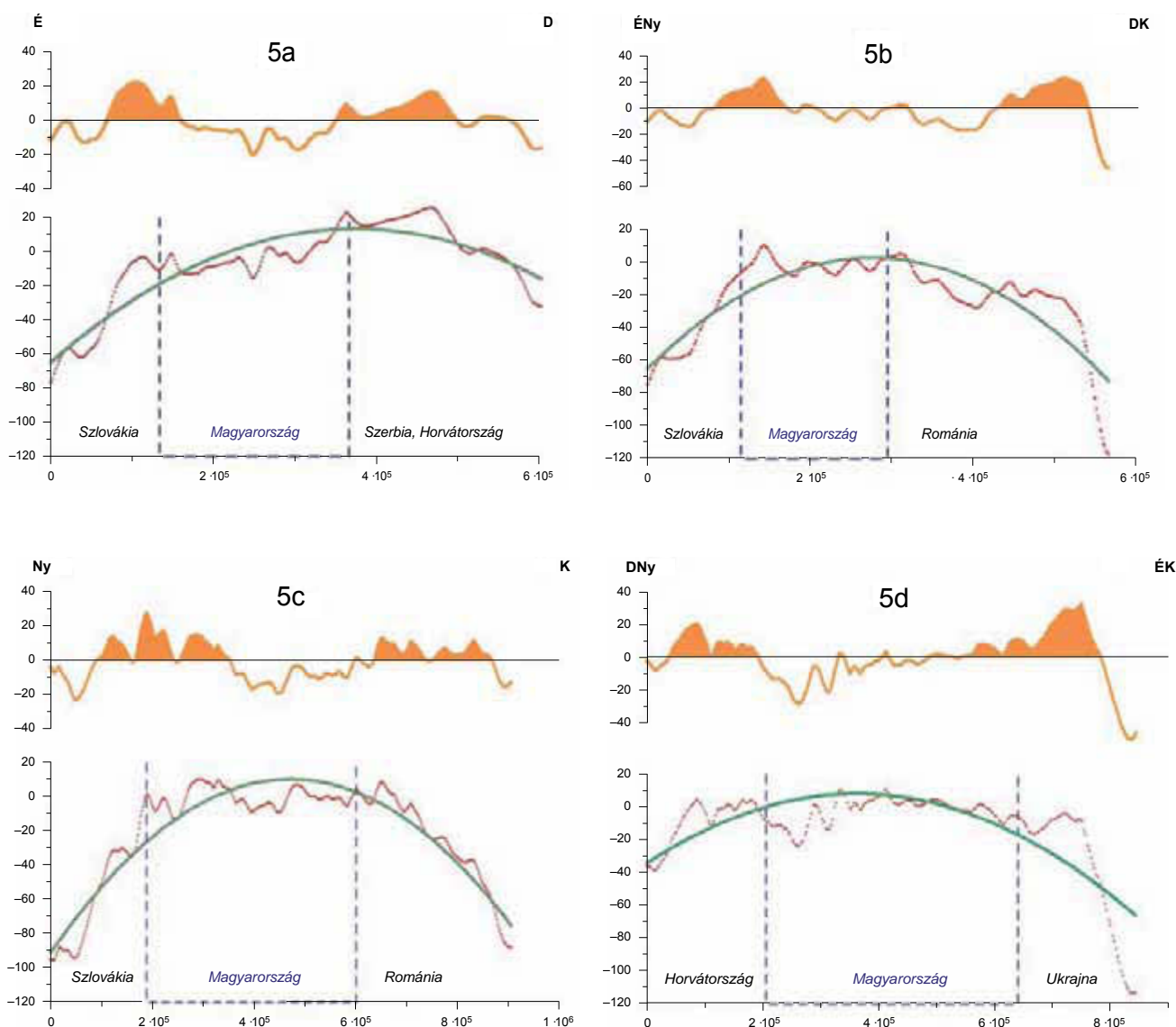


3. ábra. A Kárpát-medence domborzata a környező hegyekkel és a mintaszelvények helye
 Fig. 3. Topography of the Carpathian basin with the surrounding mountains and the location of the sample profiles



4. ábra. A mintaszelvények helyzete a négy fő irányban a közép-európai Bouguer-anomáliatérképen

Fig. 4. Location of the sample profiles in the four main directions on the Central European Bouguer anomaly map



5. ábra. Bouguer-anomália (piros), regionális hatás (zöld) és maradékanomália (narancs) az É–D-i (5a), az ÉNy–DK-i (5b), a Ny–K-i (5c) és a DNy–ÉK-i (5d) szelvény mentén

Fig. 5. Bouguer anomaly (red), regional effect (green), local effect (orange) along the profiles N–S (5a), NW–SE (5b), W–E (5c) and SW–NE (5d)

(a litoszférakutatás során a kutatott mélységeket hagyományos földtani eszközökkel nem lehet ellenőrizni). A sekélyebb kutatások esetén, a felső kéreg sűrűség inhomogenitásainak a pontos kimutatásához viszont el kell tüntetni a mélybeli (adott esetben köpenybeli) inhomogenitások torzító hatását.

Ismereteink alapján ezt a korrekciót elsősorban az Amerikai Geológiai Szolgálat [SIMPSON et al. 1983, 1985] és a Kanadai Geológiai Szolgálat (GSC 2006) alkalmazta nagy regionális gravitációs felméréseknél, a Bouguer-anomáliák földtani értelmezése során, nyilvánvalóan azért, hogy a nagy mélységek regionális hatásaitól megszabaduljanak és egy, a sekélyföldtani problémák megoldására jobban használható Bouguer-anomáliatérképet kapjanak. Az izosztatikus korrekció alkalmazása megjelenik a litoszférakutató szelvényekkel (CEL, ALP vonalak) kapcsolatos feldolgozásokban [BEHM et al. 2007], de alkalmazása nem általános.

Az izosztatikus hatás nagyságrendjének megbecslése céljából 2,5 dimenziós⁴ modellezést végeztünk, amelyhez WEBRING (1985) algoritmusát használtuk. A modellezés segítségével meghatároztuk, hogy pl. egy Magas-Tátra nagyságú hegy milyen izosztatikus hatást okoz (2. ábra), s hogy ennek a hatása a hegytől távolodva meddig érezhető?

Az ábráról látható, hogy a Magas-Tátra izosztatikus hatása a hegy gerincétől 54 km távolságra még 0,5 mGal mértékű. A csapásirányú, rajzra merőleges méreteket növelve (a 10 km-es szelvény menti vastagságot megőrizve), 200 km-es méret esetén ez a távolság már 114 km. A Kárpátok hegyvonulata ennél nyilván sokkal szélesebb, és sokkal hosszabban nyomon követhető a tengelye mentén csapásirányban,

⁴ A szelvényre (rajzra) merőleges, csapásirányban nem végtelen, hanem szimmetrikusan véges (adott esetben 20, 40, 80, 200 km) kiterjedésű test alkalmazása.

ennek megfelelően az izosztatikus hatás is sokkal nagyobb mértékű lehet.

A Kárpátoknak az ívre merőleges mérete (vastagsága) hegylábtól-hegylábig 100–150 km között változik (Erdélyt nem számítva). Az ív hossza 1200 km körüli és körbeveszi a Pannon-medencét, a hegycsúcsok 1000–1500 m-esek, így az izosztatikus hatás az oldalhatások, és a nagy méret miatt jóval nagyobb lehet, mint a szigethegységnek számító Magas-Tátra hatása. A Dinaridák esetében ez az ívre merőleges vastagság 100–250 km között van, az Alpok méretére jellemző, hogy csak elkezdődik a határon, de a vége nem látszik, mert csapásirányban van Magyarországhoz képest.

Magyarországot Ny-ról, ÉNy-ról, É-ről és ÉK-ról közvetlenül körbeveszik a magas hegyláncok (3. ábra), amelyektől 50–100 km a távolság. DK-ról, Erdélyből is izosztatikus hatással kell számolni az Erdélyi Érc-hegység (Apuseni-hegység) miatt.

Izosztatikus hatások Közép-Európa Bouguer-anomáliatérképén

A 4. ábra Közép-Európa Bouguer-anomáliatérképét mutatja. A térkép nem egyforma pontsűrűségű adatrendszerből készült, így például Szerbia esetében sokkal ritkább hálózattal kellett a 8 km-es szabályos rács távolságú Bouguer-anomáliatérképet elkészíteni, ami látszik is a térkép spektrális jellegéből.

A közép-európai Bouguer-anomália kiszámításakor – nemzetközi együttműködésben – az IGSN71 európai vonatkoztatási rendszert, WGS84 ellipszoidot és 2670 kg/m^3 korrekciós sűrűséget⁵ alkalmaztuk [MERÉNYI 2009].

A térképen néhány főirányban (3. ábra és 4. ábra) kiválogattuk a Bouguer-anomáliaértékeket. Ha van izosztatikus hatás, az a Bouguer-anomáliaértékekben regionális hatásként jelentkezik! A térképi adatrendszeren mindenféle feldolgozás nélkül egyértelműen felismerhető egy ilyen hatás, de a jobb szemléltetés céljából a négy fő égtáj szerint kiválasztott mintaszelvények mentén is ellenőrizhetjük ezt a hatást. A szelvények vízválasztótól vízválasztóig futnak, azaz a hegyek gerincén van a kezdetük és az átellenes végük is (3. ábra).

A szelvények mentén (5. ábra) látható az eredeti Bouguer-anomáliaérték, a harmadfokú polinomialis görbéje (mint regionális hatás) és felette a maradékanomália-görbe, amely a Bouguer-érték és a regionális hatás közötti különbséget mutatja.

A szelvényeken jól látszik, hogy Magyarország területe a regionális hatás szempontjából mindig a maximum zónában ($-20 \div +20 \text{ mGal}$ között) helyezkedik el. A magas hegyektől származó, nagy negatív regionális hatás (amely eléri a -120 mGal -t) leggyengébb pontja ($+10 \text{ mGal}$) valahol a D-i, vagy DK-i országhatár közelében van, az Alföldön. Ez az a pont, ahol a hegyek izosztatikus gyökérzónájának oldalirányú gravitációs hatása a legkisebb. A maradékanom-

ália-görbéken látható, hogy pl. az Alföld területén negatív értékek jelennek meg, azaz a regionális hatás eltávolítása csökkentené a Bouguer-anomáliaértékeket. Egy pozitív regionális hatás (köpenykiemelkedés) kimutatása – a hegyek által előidézett nagy minimumok (-100 mGal körüli) között – szinte lehetetlen, de az izosztatikus anomáliában nemcsak a regionális minimumok, hanem a maximumok is jelen vannak.

A korrekció a hegyeink felett nem nagyon változtatná meg, inkább növelné a Bouguer-anomália értékét, az Alföldön csökkentené azt. Azt mondhatjuk, hogy Magyarországon összességében a regionális (izosztatikus) hatás kiszűrése megnövelné a kontrasztot a hegyvidéki és medence területek gravitációs hatása között, csökkentve az Alföld Bouguer-anomáliaértékeit.

Izosztatikus korrekció és az MGH-50 gravitációs adatbázis

Magyarországon az ELGI kezdte el 1950-ben a gravitációs alaphálózati méréseket. 1955-re elkészült az elsőrendű alaphálózat, amely 16 alappontból állt (100–120 km-es állomástávolsággal), valamint a másodrendű alaphálózat, amely 493 pontból állt (10–20 km-es állomástávolsággal). A nagy körülmények között igénylő alaphálózati mérések ismertetését és a mérések eredményeit a *Geofizikai Közleményekben* FACSINAY László és SZILÁRD József (1956) tette közzé. A Magyarországon 1950 óta hagyományosan a mai napig földtani kutatásra használt, több mint 385 000 adatból álló gravitációs adatbázis ennek az alaphálózatnak a felhasználásával született meg – ez az alapja, és innen származik az MGH-50⁶ (Magyar Gravitációs Hálózat, 1950) elnevezés is.

A cikkükhöz mellékeltek az országos első- és másodrendű állomások helyszínrajzát, az izovonalas Faye-anomáliatérképet, Bouguer-anomáliatérképet, valamint az izosztatikus anomáliatérképet.

Az alaphálózati mérési pontok adatairól táblázatot is találunk, amely tartalmazza a földrajzi koordinátákat, a Bouguer-, Faye- és izosztatikus anomáliák és korrekciók értékét is (lásd pl. 1. táblázat). A cikkben az izosztatikus korrekcióról talált információk alapján: „Az izoanomál térkép megszerkesztéséhez felhasználtuk Heiskanen izoanomál térképének értékeit és azokat a redukciós értékeket, amelyeket már korábban a Dunántúl 69 állomására kiszámítottunk.”

Sajnos a hivatkozott HEISKANEN-térkép nincsen feltüntetve az irodalomjegyzékben (talán HEISKANEN et al. 1959) – ezért nehéz utólag ellenőrizni a felhasznált értékeket, illetve meghatározni azok pontosságát. FACSINAY 1952-ben is hivatkozik HEISKANEN méréseire. Úgy tűnik, hogy domborzati térképek alkalmazásával lokális izosztatikus korrekciót végeztek, HEISKANEN izosztatikus redukciós táblázata alapján (a táblázat FACSINAY 1952-ben megjelent könyvének függeléke). Míg a lokális kompenzáció esetében egy tömegnek, pl. egy hegységnek a súlya csak vertikális irányban kompenzálódik, a regionális kompenzáció feltevésénél a kompenzáció vízszintes irányban is hat, annál messzebb, minél vastagabb a kéreg [FACSINAY 1952]. A következő idézet

⁵ A korrekciós sűrűség értéke talán túl nagy, bár ez csak a medenceterületek esetében okoz problémát, ahol viszont elenyésző magasságváltozások vannak. Másik korrekciós sűrűsre való átszámításhoz nem álltak rendelkezésre a kiindulási mérési és korrekciós adatok.

⁶ Az új országos gravitációs alaphálózat (MGH-2000) 46 pontból áll, és része az UEGN2000 európai hálózatnak [CSAPÓ 2008].

Table. 1. First order gravity base stations [FACSINAY and SZILÁRD 1956]

Állomás		Földrajzi koordináták		Adria feletti magasság	Faye	Bouguer ($\sigma = 2670 \text{ kg/m}^3$)	Izosztatikus	Faye	Bouguer	Izosztatikus
Szám	Név	Szélesség	Hosszúság	M	Korrekciók mGal			Anomáliák mGal		
I	Ferihegy	47,4182222	19,23927778	126,515	39,04	-14,14	21,8	16,03	1,89	23,69
II	Gyöngyös	47,8168333	19,962	272,968	84,24	-30,52	25,9	38,74	8,22	34,12
III	Szolnok	47,1324444	20,21672222	90,677	27,98	-10,14	16,5	14,62	4,48	20,98
IV	Szentes	46,6752778	20,26655556	83,026	25,62	-9,28	15,8	8,16	-1,12	14,68
V	Szeged	46,2528333	20,08736111	81,800	25,26	-9,15	13,8	20,41	11,26	25,06
VI	Békéscsaba	46,6771111	21,13175	86,463	26,68	-9,67	17,3	21,04	11,37	28,67
VII	Debrecen	47,4846389	21,63936111	108,249	33,40	-12,10	20,8	18,04	5,94	26,74
VIII	Nyíregyháza	47,98525	21,67888889	107,676	33,23	-12,04	23,0	11,70	-0,34	22,66
IX	Bánréve	48,3047778	20,36344444	897,410	50,85	-18,42	37,0	21,20	2,78	39,78
X	Esztergom	47,7599167	18,73819444	872,200	34,39	-12,46	24,7	28,58	16,12	40,82
XI	Győr	47,7054167	17,67430556	116,291	35,89	-13,00	21,8	1,42	-11,58	10,22
XII	Szombathely	47,2711944	16,64488889	216,891	66,93	-24,25	33,8	21,25	-3,00	30,80
XIII	Nagykanizsa	46,43325	16,95575	150,270	46,37	-16,80	22,4	10,16	-6,64	15,76
XIV	Pécs	46,0709167	18,20841667	127,235	39,26	-14,22	19,3	27,63	13,41	32,71
XV	Balatonszabadi	46,9048611	18,11777778	113,641	35,07	-12,70	19,7	27,06	14,36	31,06
XVI	Harta	46,70275	19,02936111	94,925	29,29	-10,61	16,2	26,45	15,81	32,04

1956-ból azonban rávilágít még néhány részletre: „További vizsgálatokra nyílik majd alkalom, ha Magyarország izosztatikus anomáliáit a környező országok izosztatikus anomáliáival együtt értékelhetjük ki. Remélhetőleg a közeljövőben részben a szomszédos országok munkáinak nyomán a Kárpát hegylánc és a Kárpát medence izosztatikus viszonyaira érdekes megállapítások tehetők.”

Több mint 50 év telt el, és ismét elővettük az izosztázia elméletét, néhány nemzetközi kutatási programnak köszönhetően! A cél az, hogy megvizsgáljuk, milyen hatással vannak a regionális földtani felépítésből származó anomáliák a magyarországi Bouguer-anomáliaértékekre. Ehhez azonban lássuk először, hogy milyen eredményeket értek el elődeink! Napjaink eszköztárát használva megjelenítettük FACSINAY László és SZILÁRD József 493 alaphálózati adatból készült Bouguer-anomáliatérképét (6. ábra), az izosztatikus korrekció értékét Magyarország területére (7. ábra), valamint az izosztatikus korrekció elvégzése után kapott korrigált Bouguer-anomáliatérképet (8. ábra).

Az izosztatikus anomália értéke a Ny-i és az É-ÉK-i határ mentén jelentős, +40 mGal körüli, az Alföldön viszont 10 mGal körüli értékre csökken a maximális értékekről. A Bakony- és Mecsek-hegység lokális maximumként jelentkezik, de az anomália amplitúdója kisebb, mint az Alpok vagy a Kárpátok lábainak, az országhatár mentén.

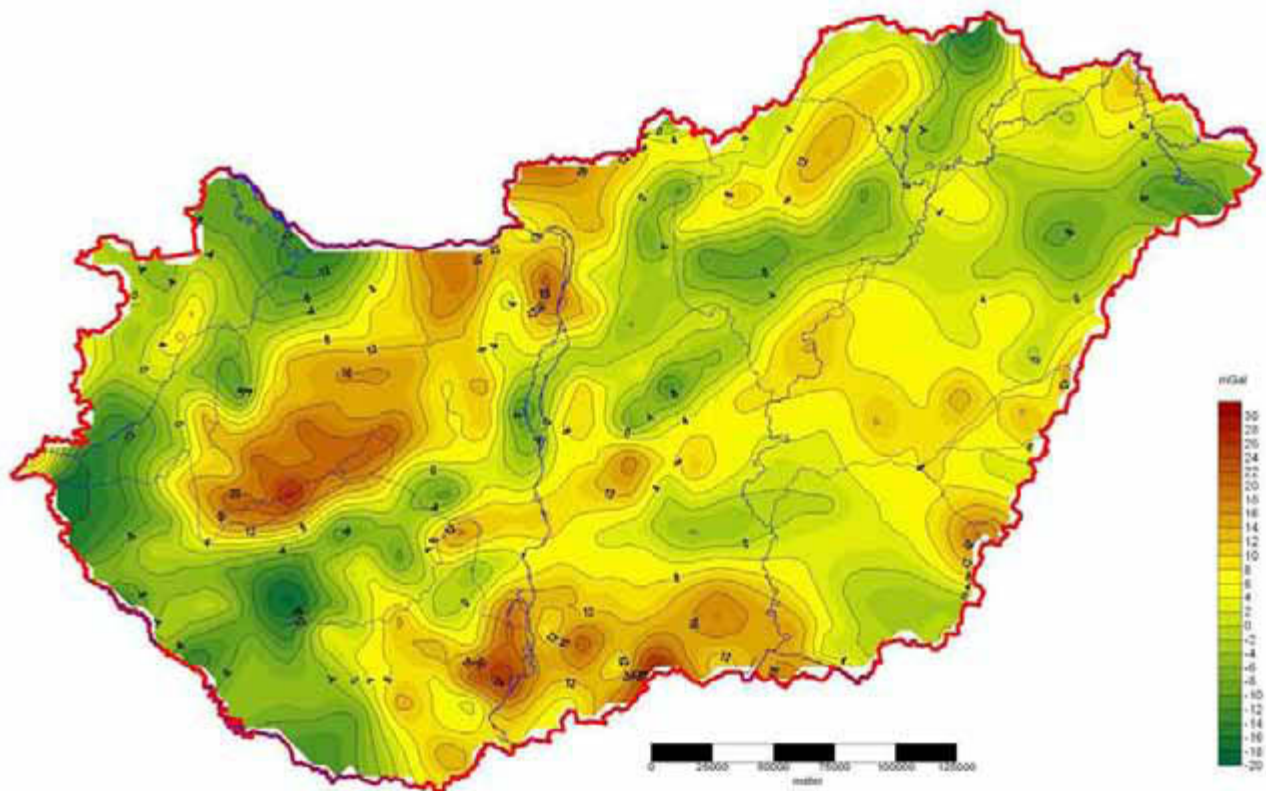
FACSINAY és SZILÁRD (1956) cikke alapján az alábbiakra lehet következtetni:

1. Az izosztatikus korrekció meghatározásánál feltételezhetően csak a magyarországi domborzatot és a magyarországi pontokat használták. Az nem derül ki egyértelműen, hogy a környező hegyek izosztatikus hatását milyen mértékben vették figyelembe. Bár egy korábbi publikáció [FACSINAY 1952] alapján valószínűleg AIRY–HEISKANEN lokális izosztatikus korrekcióját alkalmazták.

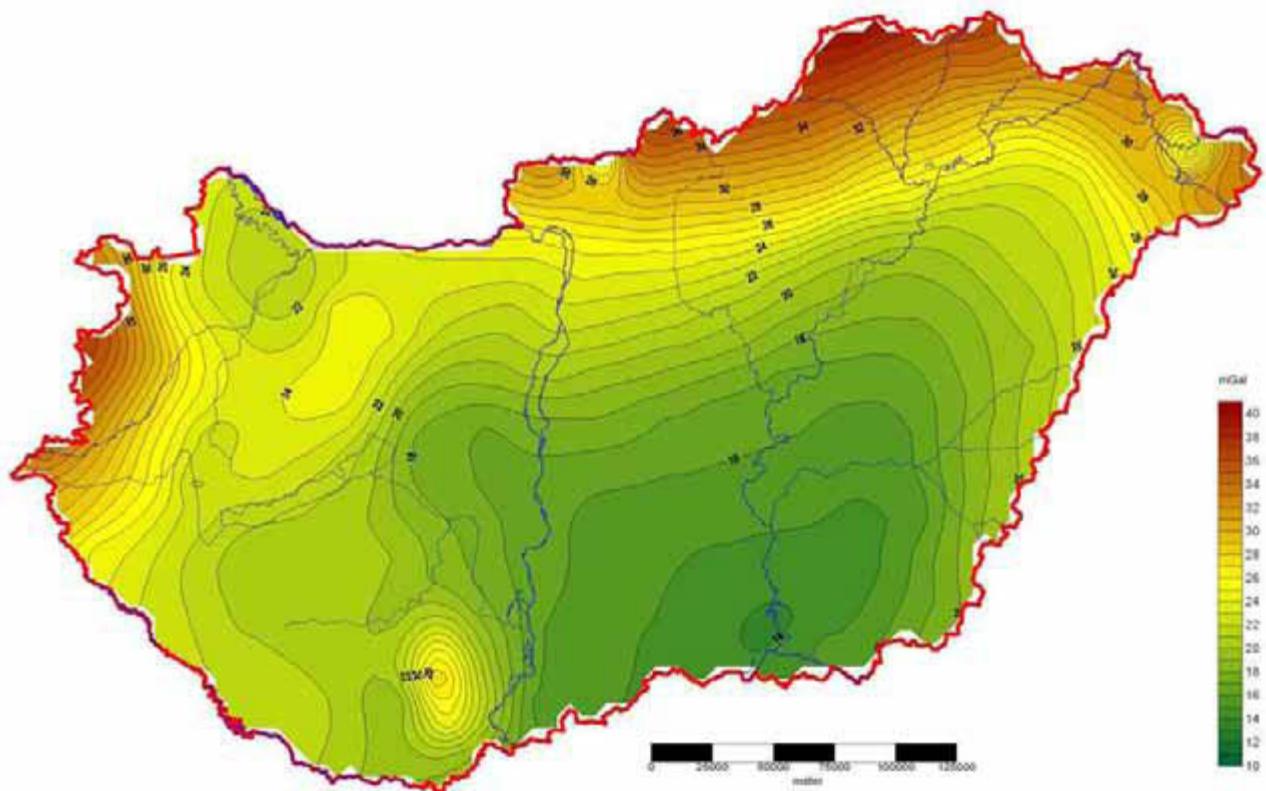
A modellezéseink (2. ábra) és vizsgálataink (5. ábra) alapján viszont nyilvánvaló, hogy a környező hegyvonulatok izosztatikus hatása áthúzódik Magyarország területére!

2. Az alaphálózati pontokra meghatározott izosztatikus korrekciók nem épültek be a ma is használt MGH-50 adatbázis (több százezer terepi mérési pontot tartalmazó) adattáblájába!

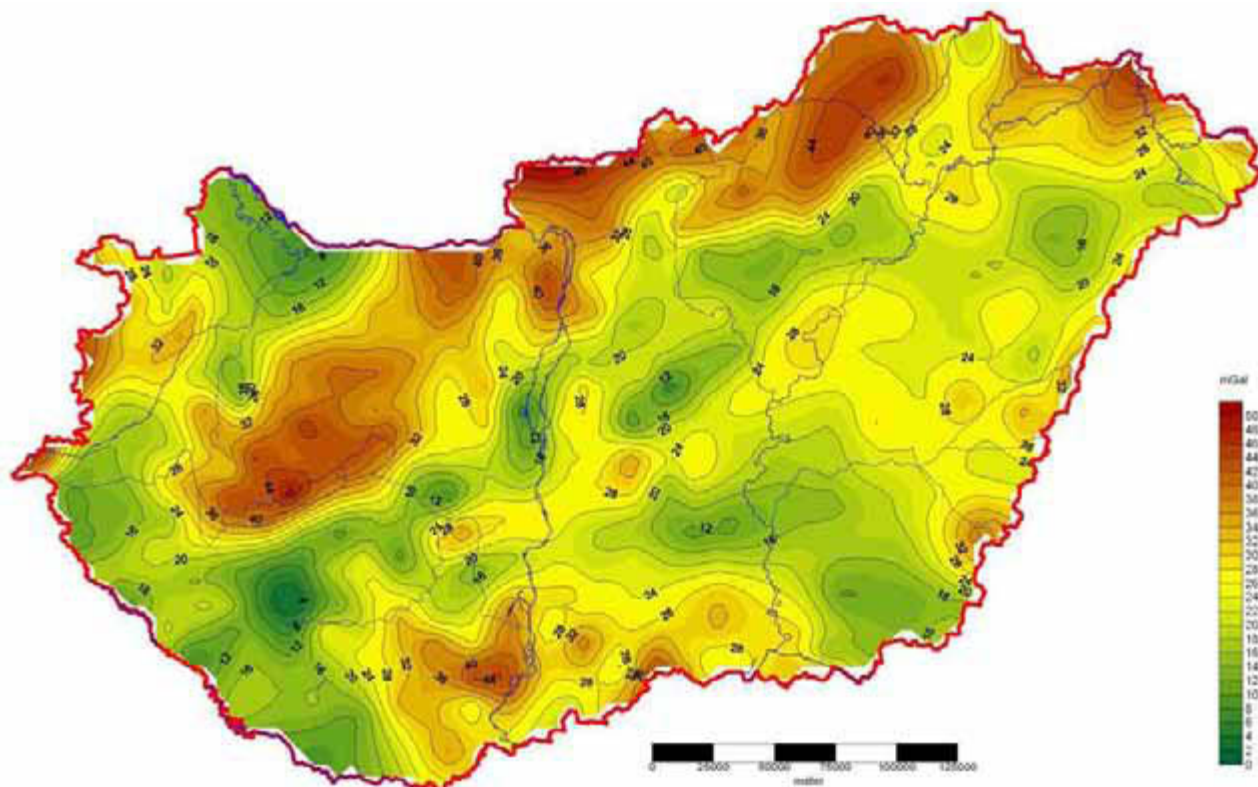
A magyarországi gravitációs adatbázis (MGH-50) a többi korrekciós paraméter mellett nem tartalmazza az izosztatikus korrekciót! Valószínűleg az 50-es években túl sok volt a bizonytalanság a mélyföldtani felépítéssel (pl. a Moho átlagos mélységével) és az izosztatikus korrekció megbízhatóságával kapcsolatban, s ezért nem használták az országos adatokon az izosztatikus korrekciót, és ezért nem került be az adatbázisba! A hagyományos földtani (felsőkéreg-) kutatás esetében – a vizsgálataink alapján – szükséges lett volna,



6. ábra. Bouguer-anomáliatérkép ($\sigma = 2670 \text{ kg/m}^3$) a másodrendű hálózat adataiból (FACSINAY és SZILÁRD 1956 adatai alapján)
 Fig. 6. Bouguer anomaly map based on data of second order gravity base stations (based on data of FACSINAY and SZILÁRD 1956)

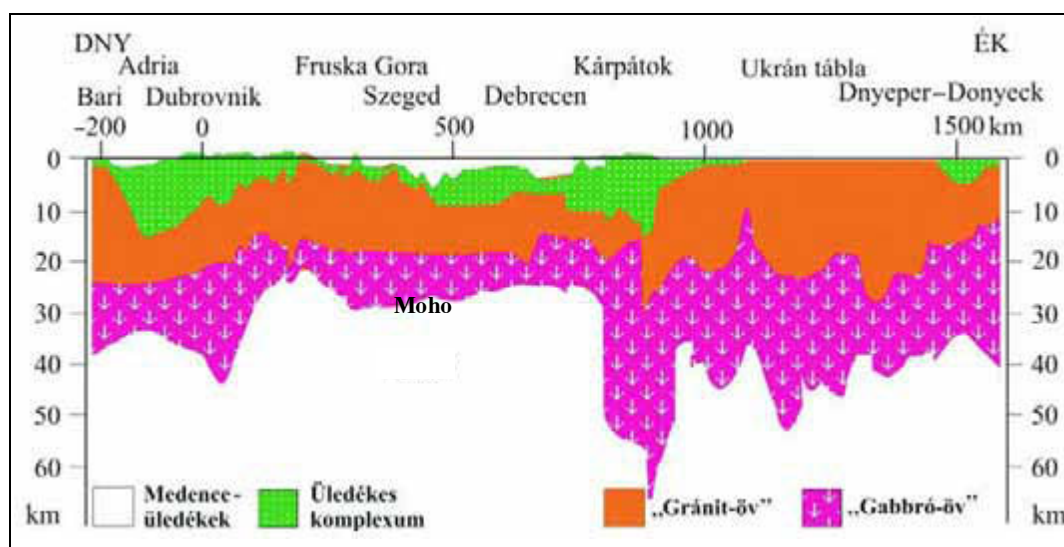


7. ábra. A másodrendű hálózat alappontjain meghatározott izosztikus korrekciótérkép [FACSINAY és SZILÁRD 1956]
 Fig. 7. Isostatic anomaly map based on data of second order gravity base stations [FACSINAY and SZILÁRD 1956]



8. ábra. Izosztatikusan korrigált Bouguer-anomáliatérkép a másodrendű hálózat adataiból [FACSINAY és SZILÁRD 1956]

Fig. 8. Isostatically corrected Bouguer anomaly map based on data of second order gravity base stations [FACSINAY and SZILÁRD 1956]



9. ábra. Egy Horvátországtól Ukrajnáig terjedő litoszférakutató szeizmikus szelvény értelmezési vázlata

Fig. 9. Interpretation sketch of lithospheric seismic profile extended from Croatia to Eastern Ukraine

mert olyan regionális hatásokat tükröz, amelyek hibás modellezési eredményekhez vezetnek.

A Bouguer-anomáliatérkép értelmezése

Amint azt a 4. ábra mutatja, Magyarország területe a hagyományosan előállított európai Bouguer-anomáliatérképen maximumként jelentkezik.

A gravitációs mérések hagyományos földtani alkalmazása szerint, a felszíni vastag medenceüledékek gravitációs minimumokat okoznak, mivel a törmelékes üledékek sűrűsége a jelentős porozitásukból adódóan kicsi. A felszínen található idősebb karbonátos üledékek, valamint a metamorf és magmás képződmények gravitációs maximumokat okoznak, mivel jóval kompaktabbak, tömöttebbek (már egyszer megjárták a nagyobb mélységet, és csak az újabb kéregmozgá-

soknak köszönhetően vannak a felszínen vagy felszínközeli).

Persze más alkalmazás is lehet, például olyan területeken, ahol az üledékes medence gyakorlatilag hiányzik. Ott a gravitációs értelmezés elsődleges célja a litoszférakutatás, a Moho diszkontinuitásfelület mélységének meghatározása. Tehát a Bouguer-anomáliatérkép felhasználhatósága a kutatás céljától, és léptékétől függ.

Hogyan lehet tehát az izosztatikus hatással terhelt közép-európai Bouguer-anomáliatérképet földtanilag értelmezni? Ha egy szóval akarnánk válaszolni, akkor azt kellene mondanunk, hogy nehezen – gondoljunk csak az Alföldre!

Első közelítésben az európai Bouguer-anomáliatérkép a Moho-szintet adja vissza! Mivel a Moho nem más, mint a kéreg–köpeny határ, így a hegyek gyökérzónája a Moho szintjében jól visszatükröződik. Ez látszik az egyik korai litoszférakutató szeizmikus szelvény értelmezésén is (9. ábra). Ez a felismerés csak a gravitációs alaphálózat kiépítése, a területi mérések összedolgozása (50-es évek) és a nagy mélységet kutató szeizmikus mérések értelmezési eredményeinek köszönhetően vált általánosan elfogadottá.

A Moho-felület határvonala a Kárpátok és a Dinaridák alatt az átlagosnál jóval mélyebbre kerül. Az ábráról áttételesen az is látszik, hogy csak a magyarországi gravitációs adatokból, a szelvény mentén, a Moho mélységét meghatározni a változás léptéke (Magyarország kis mérete) és az ekivalencia miatt nem nagyon lehet.

Nyilvánvalóan ahhoz, hogy a gravitációs anomáliatérkép, például medencealjzat-meghatározás céljából értelmezhetővé váljon, el kell végezni az izosztatikus korrekciót, megsza-

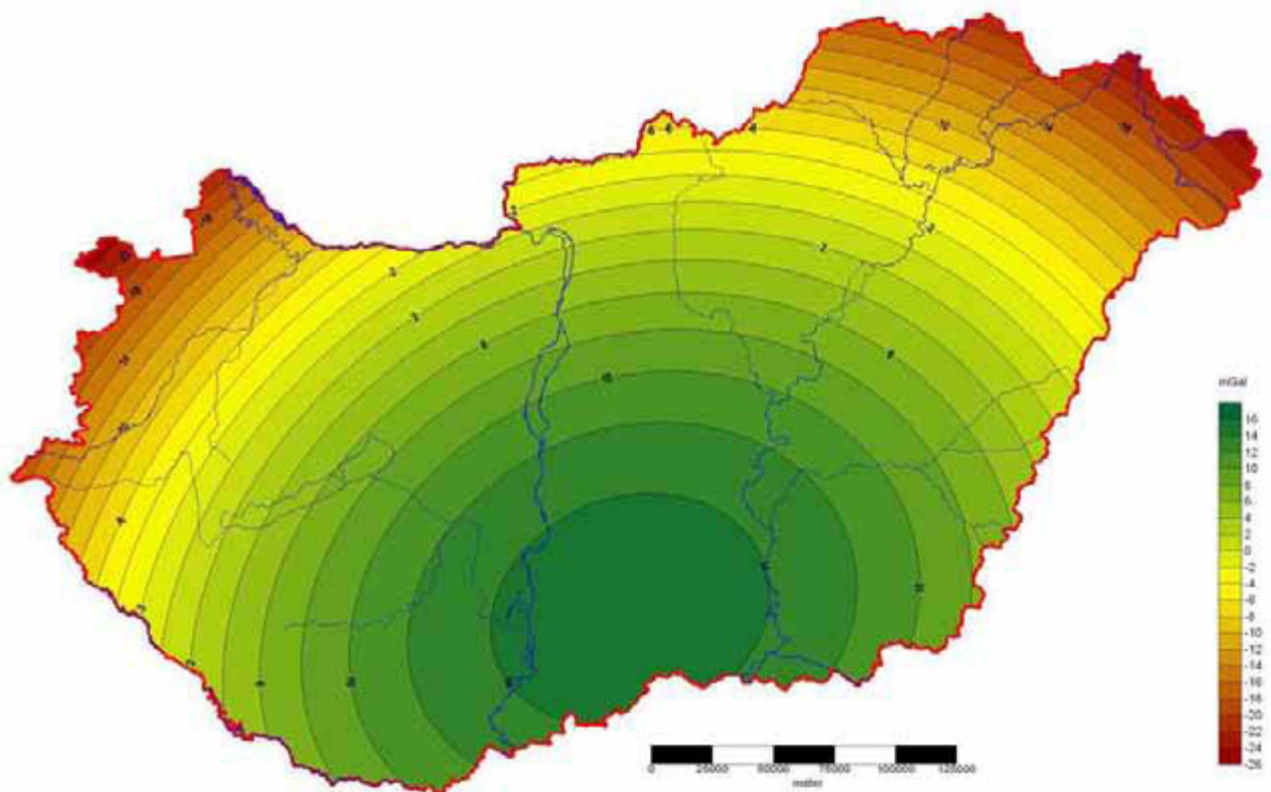
badítva a Bouguer-anomáliaértékeket a mélybeli hatásoktól, a kéreg–köpeny határ mélységéből adódó változásoktól, azaz a Moho felszínének hullámzásától.

Magyarországon először, ahogy már ismertettük, az 50-es években jelentkezett az igény arra, hogy az izosztatikus hatást figyelembe vegyék a jobb földtani értelmezés céljából [FACSINAY 1952; FACSINAY és SZILÁRD 1956]. Később a Bouguer-anomáliatérkép értelmezése során is fel-felmerült, hogy valami nincs rendben (Szendrői-hegység vizsgálata – KOVÁCSVÖLGYI, SCHÖNVISZKY (1994), Békési-medence – POSGAY et al. (1991), Kisalföld – NEMESI et al. (1994)), de feltételezhetően az adatok titkossága (és az országhatár) gátat szabott a regionális hatások számításának és az izosztatikus korrekció elvégzésének. Magyarország területileg kicsi, és nincsenek is nagy hegyei, így ez a szakmai hiba elkerülhetetlen volt, de hol vannak az Alpok, Kárpátok és Dinaridák területén fekvő országok izosztatikusan korrigált Bouguer-anomáliatérképei? Feltehetően a „saját területet lefedő adatokban való gondolkodás” miatt ezek sem tudtak elkészülni.

Hogyan tovább?

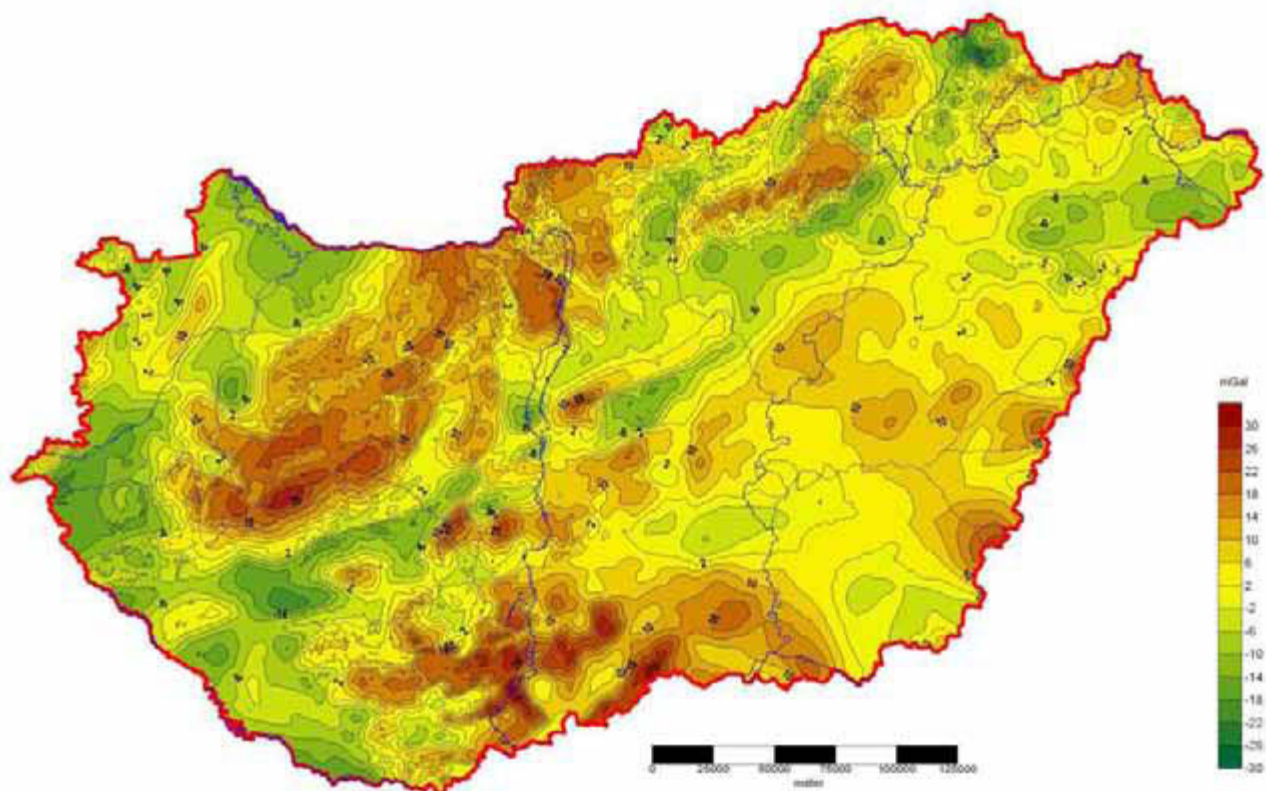
Az országos Bouguer-anomáliatérképet a lokális földtani felépítés mellett a tágabb környezet izosztatikus hatásai határozzák meg. Ez utóbbit a földtani értelmezés érdekében korrigálni kell. Két lehetőség adódik:

1. Közép-európai Bouguer-anomáliatérkép alapján a regionális hatás meghatározása és kivonása a magyarországi Bouguer-anomáliatérképből



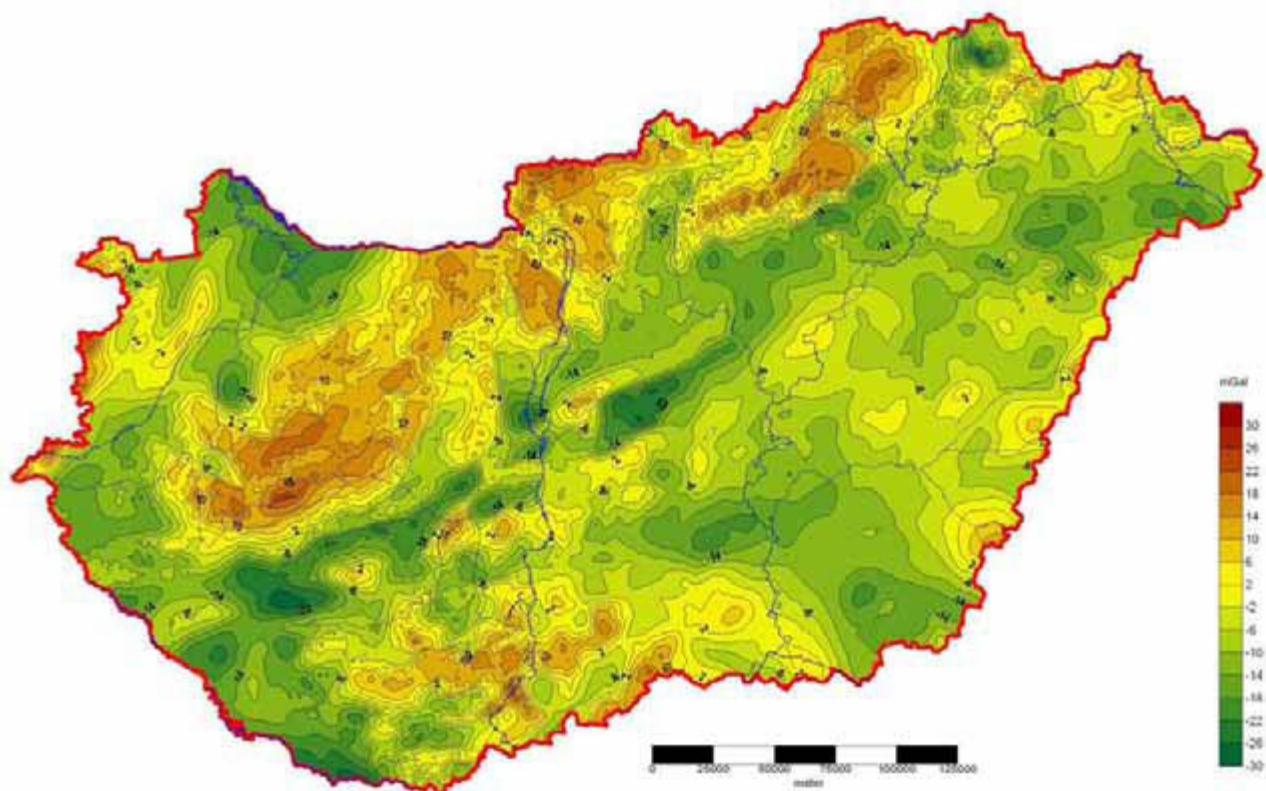
10. ábra. A közép-európai Bouguer-anomáliatérkép alapján meghatározott regionális hatás (harmadfokú felület)

Fig. 10. Regional gravity effect (3rd order surface) based on the Central European Bouguer anomaly map



11. ábra. Magyarország Bouguer-anomáliatérképe (korrekciós sűrűség: 2670 kg/m^3)

Fig. 11. Bouguer anomaly map of Hungary (reduction density: 2670 kg/m^3)



12. ábra. A harmadfokú regionális hatástól mentes Bouguer-anomáliatérkép

Fig. 12. Bouguer anomaly map corrected by the 3rd order approach of the regional effect

2. táblázat. Az alap és származtatott térképek statisztikája

Table 2. Statistics of the basic and derived maps

Terület	Év	Térkép	Minimum	Maximum	Medián	Középérték	Szórás
HU	1956	Bouguer-anomália	-18,41	29,20	3,46	3,45	8,12
		Izosztatikusan korrigált Bouguer	2,13	51,67	24,40	25,31	8,76
		Izosztatikus korrekció	13,82	40,09	21,07	21,87	5,45
	2010	Bouguer-anomália	-30,97	32,83	3,24	3,30	9,09
		Izosztatikusan korrigált Bouguer	-29,14	23,57	-5,91	-4,49	9,48
		Izosztatikus korrekció	-15,53	15,24	-6,67	-6,45	4,97
		Tr3 korrigált Bouguer	-28,36	41,25	0,14	0,62	10,86
		Tr3 (3-adfokú regionális trend)	-26,28	15,27	4,83	2,68	9,72
	C-EU	Bouguer-anomália	-127,13	27,38	-16,70	-23,77	29,23
		Izosztatikusan korrigált Bouguer	-98,34	62,16	-4,34	-8,15	21,41
		Izosztatikus anomália	-96,71	24,32	-1,76	-8,08	22,61

Az országos adatrendszeren elvégzett trendvizsgálatok arra utaltak, hogy a kétismeretlenes, másod- és harmadfokú Gauss-féle négyzetes közelítéssel (trendszűrés) meghatározott regionális trend kivonása után [KISS és TÓTH 2005; KISS et al. 2005; KISS 2006] a Bouguer-anomáliatérkép a felszíni földtani ismereteket jobban tükrözi vissza, vagyis az értelmezési problémák oka egy regionális gravitációs hatás.

A külföldi együttműködéseknek és a nagy litoszférakutató európai kutatási programoknak köszönhetően a közép-európai Bouguer-anomáliatérkép a rendelkezésünkre áll. Trendszerűségek segítségével különböző felületeket tudunk illeszteni a Bouguer-anomáliatérképre, s ilyen módon ki tudjuk szűrni a regionális hatásokat. Az egyetlen bizonytalanság a regionális hatást leképező felület megadása: első-, másod- vagy harmadfokú kétdimenziós felületet használunk-e? A regionális hatást azonban ebben az esetben valós mérési eredményekből származtatjuk, így ez a számítás mentes a szubjektivitástól.

A regionális hatást, a harmadfokú felületet (10. ábra) úgy jelenítettük meg, hogy az izosztatikus korrekciók térképeivel (7. ábra, majd később 14. ábra) vizuálisan összevethető legyen, azaz a maximum zöld, és a minimum barna színnel jelenik meg.

A 10. ábra alapján látható, hogy a regionális hatás maximuma Kiskunhalas környékén van, ahonnan minden irányban csökken a hatás mértéke, a minimális értékek az ÉNy-i és ÉK-i határok mentén jelentkeznek, az Alpok és a Kárpátok izosztatikus gyökérzónájának hatása miatt.

A 11. ábra a magyarországi adatok alapján az országos Bouguer-anomáliatérképet mutatja. A 12. ábra a regionális hatástól megtisztított, azaz maradék Bouguer-anomáliatérképet mutatja.

Az Alpok-alja maximumai erősödtek fel, valamint az ÉK-i határrész maximumai Vilyvitány környékén, ugyanakkor kisebb jelentőségű vált Telkibánya környékén, az ország egyik legjelentősebb minimuma (11. ábra). A Szendrői-hegység is nagyobb gravitációs maximumot ad, mint a

Bükk-hegység, a földtani felépítéssel összhangban. Az eredeti Bouguer-anomáliatérképen ez fordítva van!

Tulajdonképpen már ezek az eredmények is nagyon jónak tűnnek, ugyanakkor a harmadfokú felület túl sima lefutásúnak tűnik – a Kárpátok–Alpok–Dinaridák domborzata ennél sokkal változatosabb, így azok izosztatikus hatása is ettől eltérő lesz. Célszerű tehát egy másik megoldást is megvizsgálni.

2. Az izosztatikus korrekció meghatározása Közép-Európa domborzati térkép alapján

Közép-Európa digitális domborzati térképe (SRTM) már az internetről is letölthető (3. ábra). Az izosztatikus gyökérzónák 25 km-nél nagyobb mélységű tömegek hatásai, ezért nem kell túlságosan jó felbontású domborzati modellel⁷ rendelkezni – az izosztatikus hatások nagy hullámhosszúságú anomáliákként jelentkeznek és szuperponálódnak.

Az izosztatikus hatás kiszámolásához nem kell más, mint egy modellező program, amellyel kiszámoljuk ezt a regionális hatást. Az izosztatikus korrekció során ezzel az értékkel korrigáljuk az országos Bouguer-anomáliatérképet.

Kérdés csak a vonatkoztatási szint, azaz az anomáliamentes kéreg–köpeny határ átlagos mélysége. Ennek a szintnek az értékét célszerű korábbi, pl. szeizmikus mérések alapján [POSGAY et al. 1991] meghatározott Moho-mélység alapján kiválasztani.

Számításainknál Magyarország területére a 25 km-es⁸ vonatkoztatási szintet választottuk, ez a Moho minimális mélysége. Ehhez viszonyítva számoltuk ki a környező hegyek izosztatikus gyökerét az (1) összefüggés alapján, majd azok gravitációs – izosztatikus – hatását (13. ábra). A számítás-hoz PARKER R. L. (1973) algoritmusát használtuk.

⁷ Egy ekkora terület nagy felbontású topográfiai adatrendszere, a mérete miatt szinte kezelhetetlen.

⁸ Választhattunk volna akár a 30 km-es európai átlagos mélységszintet is.

A számolás során a kéreg vastagsága, mint konstans réteg, benne van a számított hatásban. Ezt eltávolítottuk ugyanúgy, mint ahogy ezt a Bouguer-korrektció (közvetlen-korrektció) során tesszük. Lehetőség adódik az esetlegesen hibás átlagos Moho-mélység korrigálására is, mert noha mi választottuk ki – emiatt pontosan tudjuk a számításhoz használt átlagos kéregvastagságot és a sűrűségkontrasztot is –, mégis célszerű a leggyakoribb értékkel csökkenteni a számított értéket, mert statisztikusan ez adja meg legjobban a kéreg hullámzásának a hatását (az izosztatikus hatás lehet pozitív és negatív is). Ha hibázunk is, a hiba a relatív Bouguer-értékek miatt csak egy konstans szinteltolást jelent, ami geofizikai szempontból megengedhető.

A kapott felület a Moho felszínével korrelál (14. ábra) és csak néhány részletében tér el FACSINAY-féle izosztatikus korrekciótérképtől (7. ábra). Látszik, hogy még a Bakony-nak is van izosztatikus hatása, ez jelenik meg a litoszférakutató CEL08 szelvény szeizmikus sebességszelvényén is [KISS 2009a], vagy az Alpok izosztatikus hatása az ország Ny-i határszélén, a CEL07 litoszférakutató szeizmikus szelvény feldolgozásában [KISS 2009b].

Az Alföldön a relatív izosztatikus korrekció értéke negatív (itt a legkisebb), azaz csökkenni fog az Alföld felett a Bouguer-anomáliaérték, mert megszűnik a regionális hatás.

A korrigált Bouguer-anomáliatérkép (15. ábra) országos szinten kontrasztosabb lett, az idős képződményekből álló kiemelt blokkok gravitációs képe sokkal jobban megfelel a felszíni sűrűségeloszlásból adódó képnek és a medencealjzat lefutásának nyomon követésére is alkalmasabb a térkép.

A harmadfokú regionális hatás alapján végzett korrekcióval ellentétben a valódi domborzat alapján számolt korrekció az ország ÉK-i, alföldi részein nem növeli meg olyan jelentősen a Bouguer-anomáliaértékét. A Nyírségben viszont a jelentős minimumok vannak, és az Alföldön is több széles minimum zóna (részmedence?) rajzolódik ki a korrigált térképen.

A 2. táblázat az alap Bouguer-anomáliatérképek, és a származtatott térképek statisztikáját mutatja.

Izosztázia és geodinamika

Az izosztatikus korrekciónak köszönhetően sikerült egy regionális hatást kiszűrni az országos Bouguer-anomáliatérképből – legalábbis a földtani (pl. medencealjzat-) kutatás szempontjából egy jobb térkép áll rendelkezésünkre. Ennek ellenére úgy tűnik, hogy a regionális gravitációs hatásoktól – európai szinten – nem sikerült teljesen megszabadulni, ami teljesen normális (az izosztatikus korrekció statikusan csak a kéreg–köpeny felszínének változásából adódó hatásokat kompenzálja). Nagy negatív anomáliák maradtak a Kárpátok vonulata mentén ÉK-en és DK-en (16. ábra), amelyek eredete ismeretlen. Az izosztatikus korrekció után megmaradó anomáliák egy része valószínűleg lemeztektonikai okokra vezethetők vissza. Az izosztatikus korrekcióval a földtani „időfaktor” nem tudjuk figyelembe venni, azaz adott időpontbeli izosztatikus állapotot tudunk csak kiszámítani, de ez nem feltétlenül egy izosztatikus egyensúlyi állapot, hanem annak csak az aktuális, pillanatnyi állása (mivel idővel az is változik). Ezek alapján Közép-Európa úgy tűnik még nincsen izosztatikus egyensúlyban.

A litoszférát felépítő kőzetek képlékeny változása (az izosztatikus egyensúlyhoz vezető „lassú” folyamatok) és a merev lemezek között lezajló „gyors” geodinamikai folyamatok (pl. a szubdukció⁹) eltérő időtartalmú változásokat jelentenek.

Az izosztatikus egyensúly irányába mutató vertikális változások sokkal hosszabb idejűek, lassabbak (1–2 mm/év – Joó 1992, esetleg 5 mm/év, pl. az Erdélyi-medencében és a Keleti-Kárpátokban – POPESCU és LAZARESCU (1988)), mint a kéreglemezek horizontális irányú mozgása (szubdukciós zónák tektonikai rekonstrukciója alapján 40–80 mm/év – HORVÁTH 2006, HORVÁTH és DOMBRÁDI (2008)). A gyors kéregmozgások velejárója ugyan a tömegkiegyenlítődéssé hosszán elnyúló folyamata, de a kétféle földtani folyamat eltérő sebességgel zajlik.

Ezzel kapcsolatban FACSINAY László (1952) írta nagyon találóan: „A szilárd kéreg alatt olyan réteg következik, amely a tartós deformáló erők hatására plasztikusan viselkedik, a rövid periódusú erőknél viszont nagy merevséget mutat. Például szokták hozni a pecsétviaszt, amely ha lassú, hosszantartó deformáló erőnek van kitéve, behajlik, hirtelen erő hatására azonban eltörik.”

A visszamaradó anomáliák tehát ott jelentkeznek, ahol a horizontális irányú kéregmozgás (szubdukció?) folyamatban van, vagy „éppen” csak befejeződött, így az izosztatikus egyensúly még nem állt be.

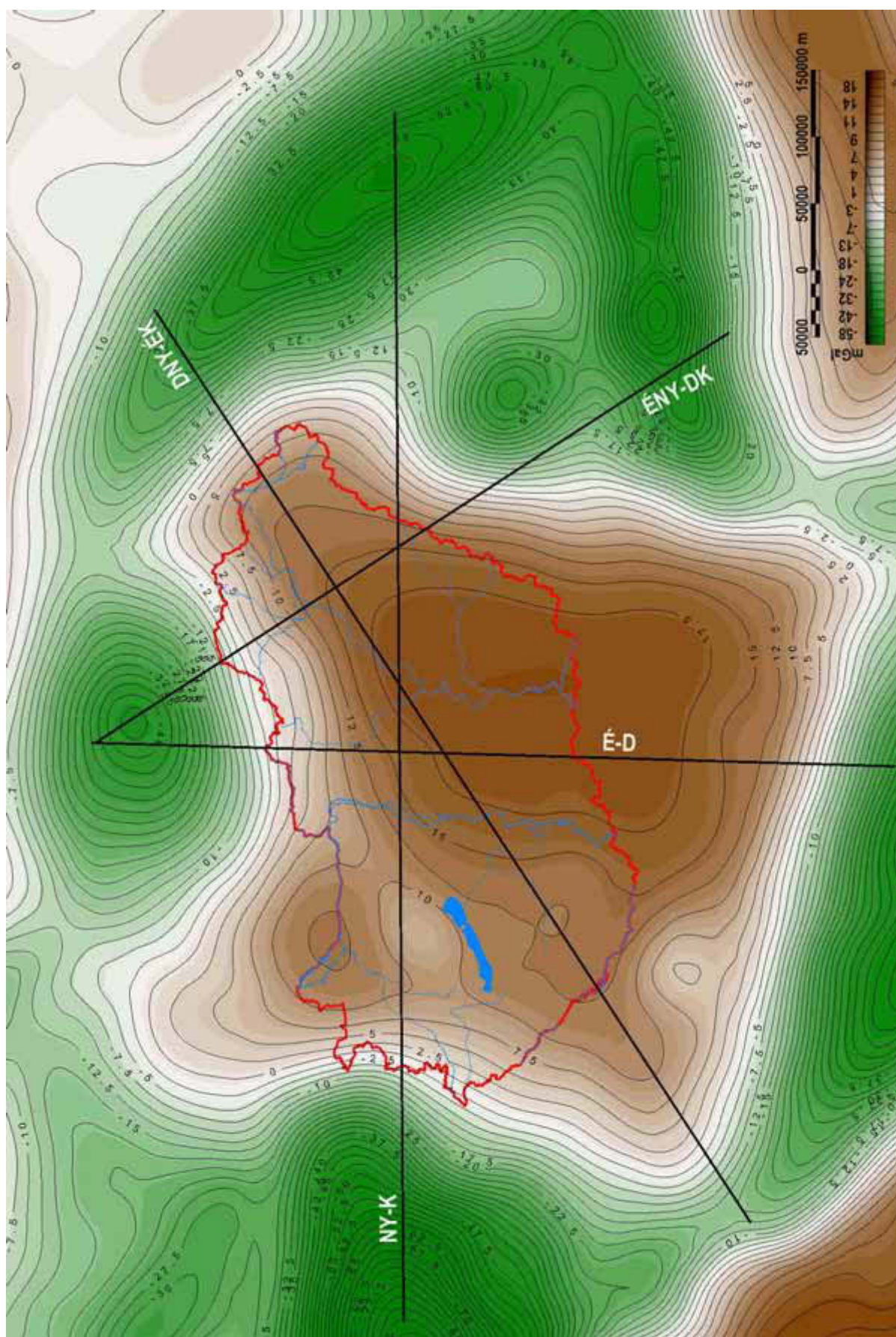
SCHEFFER Viktor tanulmányaiban [SCHEFFER és KÁNTÁS 1949] egyenesen összekapcsolta az izosztatikus anomáliákat és a földkéreg epirogenetikus (függőleges) mozgásait. Természetesen az izosztatikus kiegyenlítődéssé folyamata függőleges kéregmozgással együtt jár, de ha a mozgások miatt nem alakulna ki tömegfelesleg (vagy tömeghiány), akkor a kiegyenlítődéssé sem kezdődne el. SCHEFFER második tanulmányában viszont az izosztatikus anomáliákat veti össze az orogenetikus (vízszintes) jellegű mozgásokkal, felismerve a gyors geodinamikai folyamatok és lassú kiegyenlítődések közötti kapcsolatot [SCHEFFER 1952].

Közép-Európa területén az izosztatikus korrekció után is visszamaradó regionális jellegű Bouguer-anomáliák (minimumok) alapján – a legjelentősebbek az ország határain kívül figyelhetők meg – kéregmozgásra és a kéregmozgás irányára (16. ábra) lehet következtetni. Ezek a hatások a térképen úgy jelentkeznek, hogy máshol van a hegygerinc-

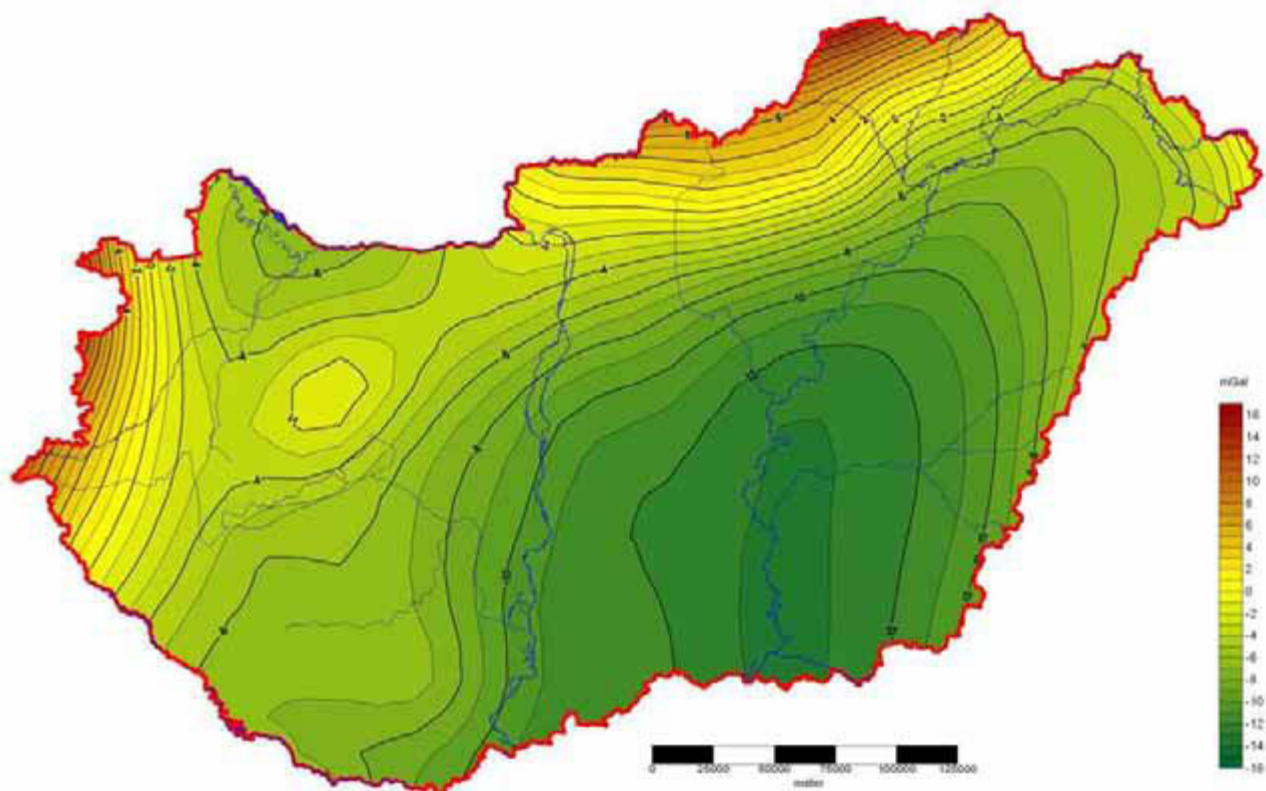
⁹ Ehhez nem árt néhány kiegészítő lemeztektonikai információ:

„A Kárpát-medence térsége a földtörténet során számos kis lemez képződési és egymáshoz ragadási helye volt. A Kárpát-medence alapvetően két mikrolemezből áll: az Afrika-peremi eredetű Alcapa-mikrolemez és az eurázsiai eredetű Tisza-Dácia mikrolemez” [CSONTOS 1998]. E két mikrolemezt együttesen Pannon szegmensnek is hívják [BEHM et al. 2007].

„A térség jelenleg kompressziós erők hatása alatt áll, amely elsősorban az Adriai mikrolemez északias mozgásával és nyomásával hozható összefüggésbe. Ez a viszonylag kis méretű litoszféraszegmens ütközik, préselődik a területnek, létrehozva a Pannon-térség recens, főképp kompressziós feszültségerét. Hasonló helyet találunk a Vrancea-zóna környékén is, ahol K-ről az európai lemez Kárpátok alá szubdukciójának megszűntével szintén erős, a kárpáti ívre nagyjából merőleges nyomás hat a területre. Nyugatról a Cseh-masszívum délkeleti pereme felől is komoly nyomóerők hatnak” [BADA és HORVÁTH 1998].

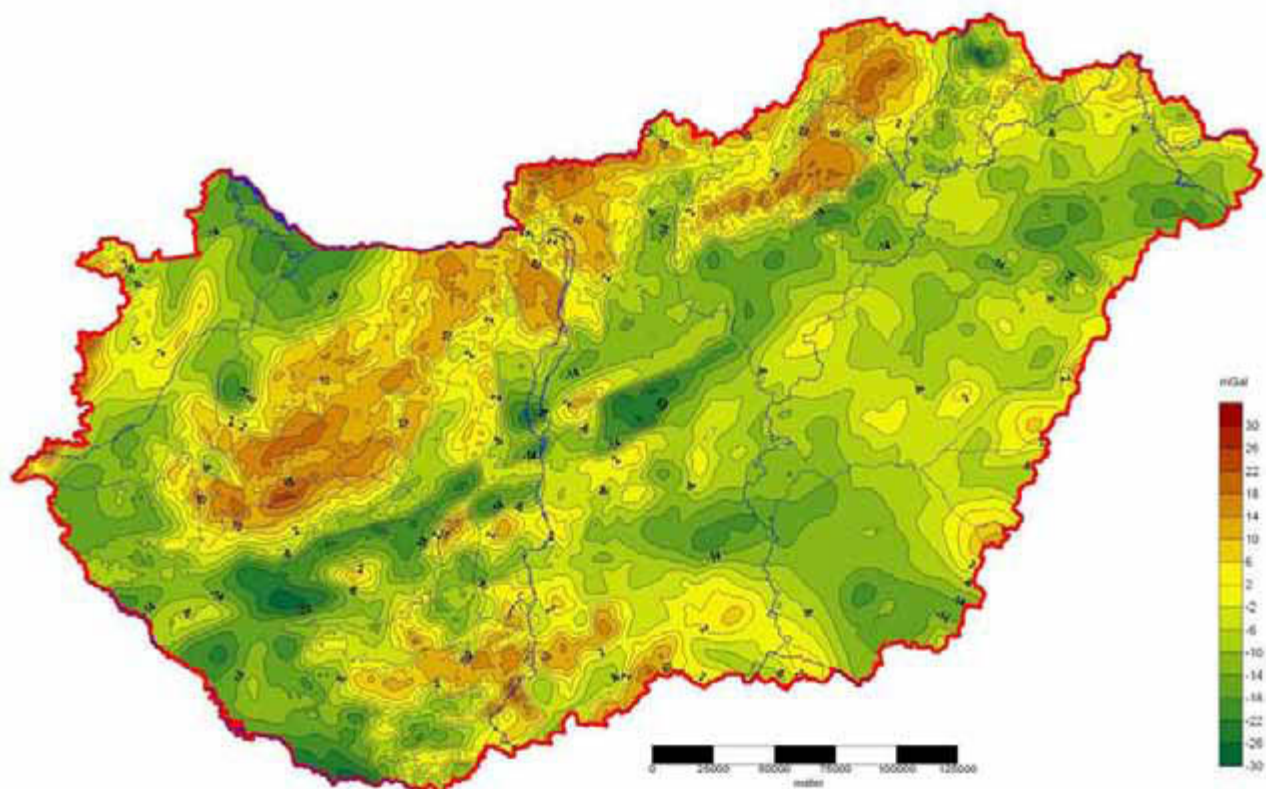


13. ábra. Közép-Európa izosztikus anomáliatérképe
Fig. 13. Isostatic anomaly map of Central Europe



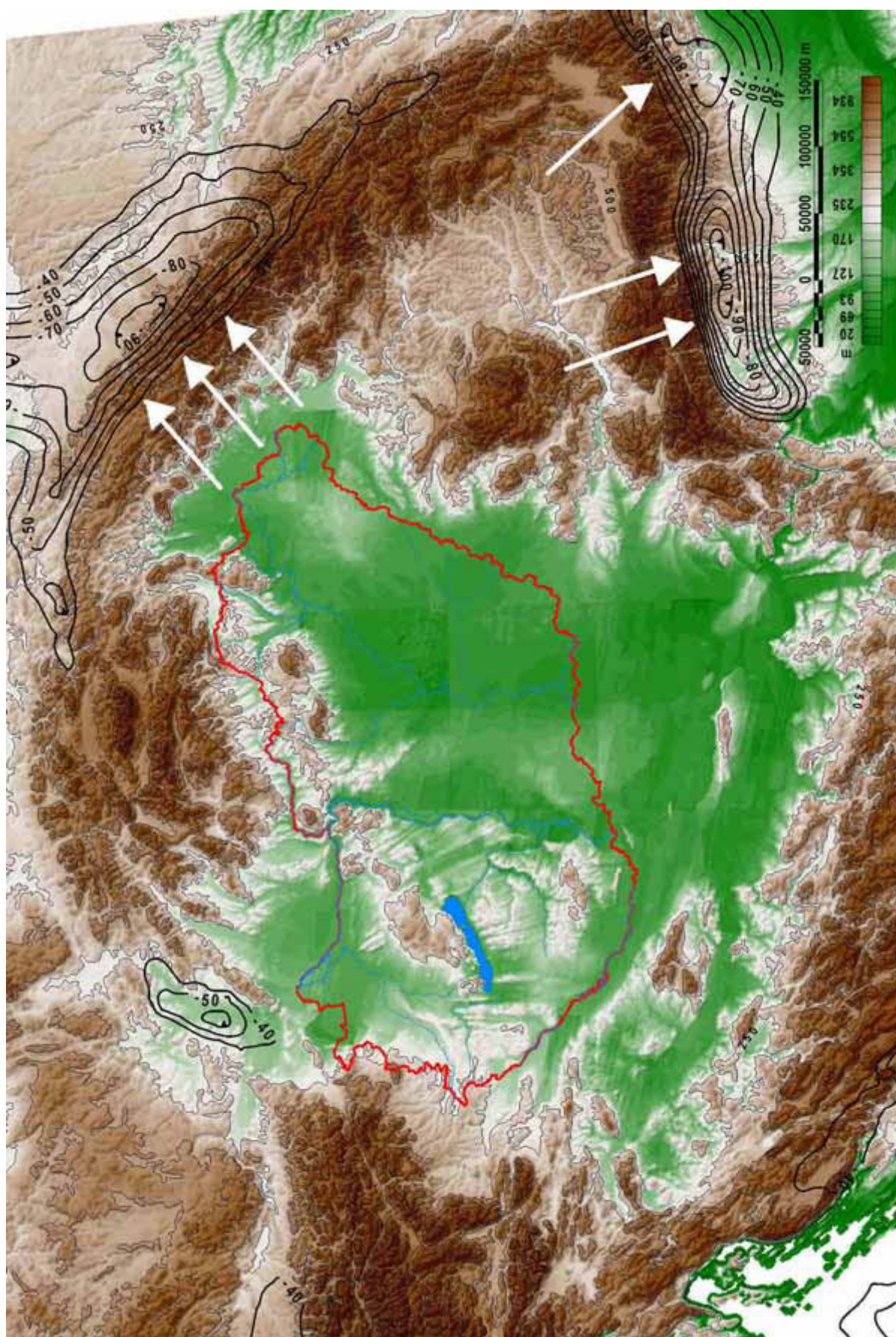
14. ábra. Az európai domborzati térkép alapján meghatározott izosztikus korrekciótérkép (Magyarországra)

Fig. 14. Isostatic anomaly map of Hungary calculated by using the European topography data



15. ábra. Magyarország izosztatikusan korrigált Bouguer-anomáliatérképe

Fig. 15. Bouguer anomaly map of Hungary after isostatic correction



magasság adatai alapján számított legnagyobb izosztatikus hatás¹⁰, és máshol van a Bouguer-anomáliából meghatározható legjelentősebb minimum (lásd a Kárpátok íve mentén, Ny-ról K-felé haladva változik a domborzati maximum és a Bouguer-minimum egymáshoz viszonyított helyzete). A domborzat és a Bouguer-anomália „elcsúszása” egymáshoz képest több szerző munkájában is felismerhető [DÉREROVÁ et al. 2006; ZEYEN et al. 2002].

Leegyszerűsítve azt mondhatnánk, hogy az izosztatikus egyensúlyt a kéreglemezek oldalirányú „gyors” mozgása megbontja, az ok és az okozat szétválik, aszimmetrikus szerkezet alakul ki, olyan, mint amilyen egy klasszikus szubdukciós zóna. Feltételezhetően a kéregmozgás az első, amelyet követ az izosztatikus kiegyenlítődés.

A kéregmozgás következménye kettős:

- egyrészt hegyeket épít a felszínen az összetorlódó kéreg anyagából,
- másrészt mélyen a köpenybe nyúló szerkezetet idéz elő, mint amilyen a szubdukciós zóna.

Az első esetben a litoszféra viszkozitásától, képlékenységtől függően lassú izosztatikus kiegyenlítődés (izosztatikus gyökérvonak kialakulása) miatt jelentkezik negatív gravitációs anomália. A második esetben a kisebb sűrűségű kéreglemez nagyobb sűrűségű köpenybe nyomulása miatt lép fel tömeghiány, ami miatt regionális gravitációs minimum alakul ki, amelyet a hagyományos gravitációs korrekciókkal nem lehet kompenzálni! Így ezek a hatások az izosztatikus korrekció után is megmaradnak a Bouguer-anomáliatérképen.

A nagy regionális gravitációs anomáliák közül kompenzálhatjuk a hegyvonulatok alatti izosztatikus hatásokat az izosztatikus korrekció segítségével, nem lehet viszont kompenzálni a gyors geodinamikai folyamatok hatását, amelyek az izosztatikus korrekció után is regionális anomáliaként jelennek meg a Bouguer-anomáliatérképen.

Az izosztatikus kiegyenlítődés hatása is kettős:

- az összetorlódó kéreganyag tömegének kiegyenlítése (gyökérvonak kialakulása),
- köpenybe mélyülő szerkezet hatásának kompenzálása (pl. a terület emelkedése).

A köpenybéli konvekció okozta kéregmozgások és az izosztatikus kiegyenlítődés minden esetben együttesen van jelen. A két folyamat párharcának vagyunk tanúi, és a harc eredménye az, ami a Bouguer-anomáliatérképen megjelenik. A kérdés, hogy mennyire tudjuk a hatásokat felismerni, azonosítani és felhasználni a földtani célú gravitációs feldolgozások során.

Következtetés

E tanulmányban a regionális gravitációs anomáliák vizsgálata alapján próbáltuk az Alföld területének viszonylag magas Bouguer-anomáliaértékeit megmagyarázni. A közép-

európai Bouguer-anomáliatérkép alapján a környező hegyvonulatok izosztatikus hatásának megjelenését lehetett feltételezni a Kárpát-medencében.

A hatás a regionális szelvények és a közép-európai Bouguer-anomáliatérkép alapján is jól azonosítható. Látszik, hogy nem a Kárpát-medencében vannak sajátos gravitációs maximumok, hanem a környező hegyek izosztatikus hatásai miatt vannak nagy negatív anomáliák körülöttünk. A Kárpát-medence közepe felé haladva ez a hatás egyre kisebb, és így lokális maximumot (13. ábra) okozhat a medence közepén.

Az izosztatikus hatást különféle eljárásokkal meghatároztuk, s elvégeztük az izosztatikus korrekciót. A korrekció után valóban csökken a Bouguer-anomália átlagos szintje az Alföldön – miközben az ország É-i és Ny-i, hegyvidéki részein a korrekció miatt az anomáliák növekednek.

Az Alföldön a korrekció elvégzése után is megmaradó gravitációs maximumok (mivel a laza üledékek nem fognak gravitációs maximumot okozni) az üledékes medence alatti mélybeli hatásokra, kéreg- vagy köpenybéli inhomogenitásokra utalhatnak (pl. köpeny diapír).

Közép-Európára vonatkozóan a korrigált térképnek geodinamikai szempontból van jelentősége. Az izosztatikus korrekció után visszamaradt regionális jellegű minimumok és az izosztatikus anomáliák összevetéséből a földkéreg mozgásának irányára lehet következtetni. A nem kompenzálható regionális hatások (elsősorban a minimumok) fiatal vagy aktív kéregmozgások hatásának köszönhetők és külön figyelmet érdemelnek.

Köszönetnyilvánítás

A cikk az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben végzett gravitációs módszertani kutatásnak az eredménye, egy előtanulmány. (Az európai adatharmonizálási programok és a geofizikai metaadatbázisok internetes megjelenése (kinga.elgi.hu, www.geomind.eu) során elkészített adatbázis-katalogusok egyik adattáblája az izosztatikus korrekció értéke lehetne, amely szakmai berkekben, az európai léptékű litoszférakutatás és felsőkéreg-kutatás szempontjából egyaránt, érdeklődésre tarthat számot.)

Köszönet minden ismert és ismeretlen kollégának (és a „TÜK”-nek), akik ezeket az adatokat létrehozták, megőrizték, s ezáltal közvetve lehetővé tették, hogy a vizsgálatok elkészüljenek.

Köszönet a geológus kollégáknak, akik nem hagytak nyugton, egyre újabb és pontosabb feldolgozásokat követelve a gravitációs adatfeldolgozástól.

Köszönet továbbá a nemzetközi együttműködéseknek, pl. „West–East Europe Gravity Project” és „CELEBRATION” litoszférakutató program, amelynek köszönhetően a hazai lokális gravitációs képből kitekintve az „európai szintű” gondolkodás lehetővé vált.

Nélkülük valószínűleg ez a cikk nem készült volna el.

¹⁰A domborzat aszimmetriájából származó torzulást a Bouguer-anomália számításánál figyelembe vesszük, így az nem lehet az oka az eltérésnek.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A., BIELIK M. 1998: The crustal and upper-mantle geophysical signature of narrow continental rifts in the Pannonian Basin. *Geophys. J. Int.* **134**, 157–171
- AIRY G. B. 1855: On the compensation of the effect of the attraction of mountain measurements. *Phil. Trans. London*
- BADA G., HORVÁTH F. 1998: A Pannon-medence jelenkori tektonikája, *Természet Világa*, II. különszám, 18–23
- BALKAY B. 1959: Crustal structure below Hungary. *Ann. Univ. Sci. R. Eötvös, Sect. Geol.* **II**, 3–14
- BEHM M., BRÜCKL E., MITTERBAUER U. 2007: New Seismic Model of the Eastern Alps and its Relevans for Geodesy and Geodynamics. *Vermessung & Geoinformation* 2/2007, 121–133
- BIELIK M. 1988: Analysis of the stripped gravity map of the Pannonian Basin. *Geologicky Zbornik – Geologica Carpathica* **39**, 99–108
- BIELIK M. 1991: Density inhomogeneities of the Earth's crust of the Intra-Carpathian region. *Contr. Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci.* **21**, 79–92
- CSAPÓ G. 2008: A magyarországi gravimetriai alaphálózatok vonatkoztatási rendszereinek összehasonlítása. *Magyar Geofizika* **49**, 3, 105–110
- CSONTOS L. 1998: Lemeztektonika másként. *Természet Világa*, II. különszám, 10–17
- DÉREROVÁ J., ZEYEN H., BIELIK M., SALMAN K. 2006: Application of integrated geophysical modeling for determination of the continental lithospheric thermal structure in the Eastern Carpathians. *Tectonics* **25**, TC3009, doi: 10.1029/2005TC001883
- FACSINAY L. 1952: Gravitációs mérések és izosztázia. Akadémiai Kiadó, Budapest
- FACSINAY L., SZILÁRD J. 1956: A Magyar Országos Gravitációs Alaphálózat. *Geofizikai Közlemények* **V**, 2
- GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA honlapja 2006: http://gdr.nrcan.gc.ca/gravity/can2k_iso_e.php
- HORVÁTH F. 2006: Lemeztektonika és az új globális geodinamika. *Magyar Tudomány* 167, 930–945
- HORVÁTH F. és DOMBRÁDI E. 2008: A Föld mélye a kéregtől a magig. *Földrajzi Közlemények* 132, 385–400
- HEISKANEN W. A., NISKANEN E., KÁRKI P. 1959: Topographic-isostatic maps for Europe. *Publications of Isostatic Institute*, No. 31., Helsinki
- HEISKANEN W. A. VENING MEINESZ F. A. 1958: *The Earth and Its Gravity Field*. McGraw Book Company, Inc., London
- JOÓ I. 1992: Recent vertical surface movements in the Carpathian basin. *Tectonophysics* **202**, 120–134
- KISS J. TÓTH Z. 2005: Geofizikai módszertani kutatások: Erőter-geofizikai, képfeldolgozási módszerek (7.1.2.4 téma). Kézirat, ELGI adattár
- KISS J., GULYÁS Á., PRÁCSER E., VÉRTESY L. 2005: Magyarország gravitációs lineamens térképe. VI. Geotudományi Ankét, 2005. november 25., Nagykanizsa
- KISS J. 2006: Gravity Bouguer Anomaly Map of Hungary. *Geophysical Transactions* **45**, 2, 99–100
- KISS J. 2009a: A CEL08 szelvény geofizikai vizsgálata. *Magyar Geofizika* **50**, 2, 59–74
- KISS J. 2009b: Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron
- KOVÁCSVÖLGYI S., SCHÖNVISZKY L., 1994: A Bükk-hegység és előterének gravitációs értelmezése, Sárospatak – A Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesületének Vándorgyűlése, Sárospatak
- MERÉNYI L. 2009: szóbeli közlés (ELGI–GETECH együttműködés)
- MESKÓ A. 1983: Regional Bouguer gravity maps of Hungary. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hungary* **18**, 1–2, 187–200
- MESKÓ A. 1989: Bevezetés a geofizikába. Tankönyvkiadó, Budapest
- NEMESI L., DUDÁS J., DRASKOVITS P., HOBOT J., VARGA P.-NÉ, TÓTH CS., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R., VARGA G. 1994: A Kisalföld geofizikai kutatási eredményeinek összefoglalása. *Geophysical Transactions*, **39**, 2–3
- PARKER R. L. 1973: The rapid calculation of potential anomalies. *Geophysical Journal* **31**, 447
- POPESCU M. N., LAZARESCU V. 1988: Recent vertical crustal movements in Romania: spatial and temporal variations. *Journal of Geodynamics* **9**, 187–197
- POSZGAY K., ALBU I., MAYERKOVA M., NAKLADALOVA Z., IBRMAJER I., BLIZKOVSKY M., ARIC K., GUTDEUTSCH R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central-Europe. *Geophysical Transactions* **36**, 1, 7–13
- PRATT J. H. 1855: On the attraction of the Himalaya Mountains and of the elevated regions beyond them upon the plumbline in India. *Phil. Trans. London*
- RENNER J., STEGENA L. 1965: Gravity research of the deep structure of Hungary. *Ann. Univ. Sci., Budapest*, **VIII**, 153–159
- SCHIEFFER V., KÁNTÁS K. 1949: A Dunántúl regionális geofizikája. *Földtani Közöny*, Budapest
- SCHIEFFER V. 1952: Az izosztatikuss anomáliák és a hegységképződési vergenciák összefüggése. *MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei* **VII**, 4
- SIMPSON R. W. et al. 1985: A new isostatic residual gravity map of the conterminus United States. Abstract, SEG 55, Annual Meeting
- SIMPSON R. W., JACHENS R. C., BLAKELY R. J. 1983: Airyroot: a Fortran program for calculating the gravitational attraction of an airy isostatic root out to 166.7 km. *USGS Open-File Report* 83-883
- SZABÓ Z. 1989: Filtered gravity anomaly map of Hungary. *Geophysical Transactions* **35**, 1–2, 135–142
- SZAFIÁN P. 1999: Gravity and tectonics: A case study in the Pannonian basin and the surrounding mountain belt. PhD, Vrije Universiteit, Amsterdam, ISBN 90-9012373-3: 153 pp.
- VÖLGYESI L. 2002: *Geofizika*. Műegyetem Kiadó, Budapest
- WEBRING M. W. 1985: SAKI – A Fortran program for generalized linear inversion of gravity and magnetic profiles. *U.S. Geological Survey Open-File, Report* 85-122, 104 p.
- ZEYEN H., DÉREROVÁ J., BIELIK M. 2002: Determination of the continental lithosphere thermal structure in the western Carpathians: Integrated modeling of surface heat flow, gravity anomalies and topography. *Phys. Earth Planet. Inter.* **134**, 89–104

Földrengések térképen történő ábrázolásának 200 éves története¹

PÓDÖR ANDREA², KISZELY MÁRTA³

Jelen munka rövid áttekintés nyújt nagy mennyiségű adatrendszer megjelenítésének nehézségeiről a Kárpát-medence és környezetében kipattant földrengések esetében. A Magyar Földrengés Katalógus közel 25 000 földrengést tartalmaz 456-tól napjainkig. A legújabb kartográfiai programokra alapozva a szerzők néhány lehetséges megoldást mutatnak be.

A. PÓDÖR, M. KISZELY: 200 years of visualization of earthquakes on maps

The present study gives a brief overview of the difficulties in the cartographical representation of enormous data sets like earthquakes data of the Carpathian Basin and adjacent region. The Hungarian Earthquake Catalogue contains about 25 000 earthquakes ranging from 456 A.D. to the present. Based on the newest cartographical programs the authors are presenting some possible solutions.

Bevezetés

Földrengéshez kapcsolódó első ismert térkép, ahol már tudományos igényű adatgyűjtés is folyt, a Móron kipattant 1810. január 14-i földrengéshez kötődik. A földrengés erősségének műszeres megfigyelésen alapuló mérőszáma a magnitúdó. A felszíni hatásának leírására, jellemzésére az ún. intenzitásskála szolgál, melyet római számokkal jelölünk. A 12 fokozatú Európai Makroszeizmikus Skálán (EMS) épület-sérülések az V-ös fokozattól jelennek meg, míg a XII-es fok a teljes pusztulást jelzi. A földrengés intenzitása az epicentrum környezetében maximális. A móri rengés esetében $I_{\max} = VIII$ lehetett, magnitúdója 5,4 érték körülire becsülhető.

A királyi Helytartótanács kérésére egy Tudós Bizottság alakult, melynek tagjai KITAIBEL Pál és TOMTSÁNYI Ádám a pesti egyetem professzorai és NOVÁK József megyei főorvos voltak. Bejárták a rengés által érintett területet, és egy térképet is szerkesztettek, amelyen vonallal jelölték a legerősebben megrázott területeket és ábrázolták a földrengés során keletkezett felszíni repedéseket, valamint a rengés fő lökésirányát (1. ábra). A térképet 1960-ban az Akadémiai Kiadó újra kiadta. Ez a térkép az első, tudományos vizsgálaton alapuló izoszeisztatérkép. A károkat a térképen a sematikus ábrázolt templomok tornyának sérülése jelzi, a pontozott vonal a kárt szenvedett területet határolja. A lökés irányát nyilak mutatják. A földrengés kipattanásának lehetséges okaként azt tételezték fel, hogy felszín alatti szénrétegek begyulladtak és az üregekben gőz képződött, amelynek nyomása hirtelen szétfeszítette a felette levő rétegeket, esetleg felszínalatti elektromos kisülések hozták létre a rengéseket. A főrengést körülbelül 1000 utórengés követte, melyet egy leleményes csákvári kertész faágakra akasztott csengők segítségével figyelt meg. A feljegyzések sajnos elvesztek.

A móri földrengés óta eltelt 200 év során nagyon sokat változott a világ. Már nem szerkesztünk kézzel térképet, a domborzatot bemutató térképek készítéséhez nagyon sok mérésadat áll rendelkezésünkre. Számítógépes programok segítségével szerkeszthetünk 3D-s domborzatmodellt, és ezek a modellek nagyon sok információt szolgáltatnak, egy-szersmind esztétikusak is.

Bár pusztító méretű földrengések ritkán pattannak ki a Kárpát-medencében, mégis hosszú történelmi múltra tekintenek vissza a földrengésekre vonatkozó feljegyzések. Rendezve ezeket az adatokat, katalógust kapunk. A szeizmológiai térképeken legtöbbször a földrengés-katalógus adatait ábrázoljuk. A magyarországi katalógus közel 25 000 adatot tartalmaz 456-tól napjainkig. Az első katalógusba vett földrengés Magyarország területén, melyről feljegyzések maradtak fenn Avitus uralkodásának idejében, 456-ban szeptem-



1. ábra. KITAIBEL Pál és TOMTSÁNYI Ádám térképe a móri földrengésről (részlet)

Fig. 1. The map of the earthquake of Mór by P. KITAIBEL and Á. TOMTSÁNYI (detail)

¹ Beérkezett: 2010. január 25., elfogadva: 2010. március 8.

² Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, H-8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1–3.

³ Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, H-1112 Budapest, Meredek u. 18; E-mail: marta@seismology.hu

ber 7-én, este történt Savaria, a mai Szombathely térségében. A rengésről nem sokat tudunk, magnitúdója 6,1-re becsülhető. 1600-ig 250 rengést tartalmaz a katalógus, amely 1800-ra újabb 600 földrengéssel gyarapodott. 1900-ra az eltelt 100 év alatt bejegyzett rengések száma már 3500 fölötti. Az elmúlt évszázadban, pedig 17200 földrengést sikerült katalógizálni (44°–50° É, 13°–28° K). A legerősebb, $M \geq 6$ méretű földrengések száma 71, és ezekből 14 pattant ki a legutóbbi elmúlt 100 évben.

A műszeres regisztrálás 1902. március 1-én indult el Budapesten a Földtani Intézet pincéjében. A magyarországi hálózat 1906-ra 5 állomásból állt (Budapest, Fiume, Ógyalla, Temesvár és Zágráb), majd 1914-ig további 5 állomással bővült (Kalocsa, Kecskemét, Kolozsvár, Szeged és Ungvár). Az I. Világháború megtörte ezt a dinamikus fejlődést, a II. Világháború után már csak 3-4 állomás működött. Ennek következménye, hogy az 1990-es évek elején volt olyan terület Magyarországon, ahol legtöbbször csak akkor szereztünk tudomást egy földrengésről, ha azt a lakosság jelezte. 1995-ben sikerült egy 10 állomásból álló hálózatot létesíteni, amely főleg a Paksi Atomerőmű telephelyének szeizmológiai monitorozását szolgálta. Jelenleg 15 állomás működik, ebből 6 valós idejű, vagyis az adatok rögtön megnézhetőek.

A földrengések térképi ábrázolásának nehézségei

Ha térképen szeretnénk megjeleníteni a földrengés-katalógus adatait, akkor a következő tényezőkre kell figyelemmel lennünk. Egy földrengéshez kapcsolódó adatok a következők:

- időpont,
- koordináták,
- fészekmélység,
- méret (magnitúdó és/vagy intenzitás),
- kategória (elő-, fő-, utórengés, robbantás),
- egyéb adatok (fészekmechanizmus, detektáló állomások száma, károk stb.).

Az adatok hibával terheltek, néha valamelyik, előbb felsorolt adat hiányozhat. Ezeket az adatokat szeretnénk – lehetőleg egyszerre – ábrázolni, illetve valamilyen tematika szerint rendszerezni. Mivel nagyon sok adat áll rendelkezésünkre, és ezek több mint 1500 évet ölelnek át, számos nehézséggel kell szembenéznünk:

- Pontatlanság: A régi rengések epicentrumai pontatlanok, községnevekhez kötődnek, ezért sok rengés azonos koordinátával rendelkezik, így ábrázoláskor egymásra íródnak ezek az események.
- Óriási adatmennyiség: Több ezer adatot tartalmaz a katalógus, ezek külön jelekkel, egyazon térképen ábrázolva már zavaróak, nem lehet megkülönböztetni az egyes szimbólumokat.
- Hosszú időintervallum: Adataink a 456–2009 közötti időintervallumot ölelik fel. A régi adatok is fontosak, az új adatok viszont pontosabbak és több információt tartalmaznak.
- Idők során változott a katalógus minősége (műszeres regisztrálás beindulása óta 1902-től többször változott az állomások száma és azok elhelyezkedése).

A térképi ábrázolásnak tükröznie kellene ezeket a körülményeket, és lehetőleg minél több információt kell bemutatnia [ARNBERGER 1966; ANSON 1988]. A földrengések koordinátaadatait (φ ; λ) a térképészetben használatos EOVS vetületi rendszerre MOLNÁR Gábor és TÍMÁR Gábor [2002] erre a célra írt programjával számítottuk át.

Kartográfiai lehetőségek

A földrengésekkel kapcsolatban az előbbieken felsorolt, jellemző adatok (koordináta, magnitúdó stb.) megfelelően tárolhatók egy térinformatikai adatbázisban, azonban a fő problémát a megjelenítés jelenti. Vizsgáljuk meg, milyen lehetséges ábrázolási módszerekkel jeleníthetők meg az egyes leíró adatok! Ezek egy részének megjelenése a térképeken triviális/evidens módon megoldható a *koordináták* révén (ezek nélkül nem létezik térképi megjelenítés): az előzőekből azonban kitűnik, hogy ezek pontossága eltérő. Ezt lehet jelölni egyezményes jellel, vagy színárnyalattal [KLINGHAMMER, PAPP-VÁRY 1985; STEGENA 1985; WITT 1971].

Epicentrumok eloszlása

Ha az ábrázolás lényege annak bemutatása, hogy egy adott terület az évszázadok során mennyire földrengéses, akkor a földrengések mintegy egymásra rakódnak. Az adat mennyisége olyan sok, illetve természetéből fakadóan bizonyos helyeken sűrűsödik, így az ábrázolás célja – az összes lehetséges adat egyszerre történő bemutatása – szinte lehetetlenné válik. Számos megoldást láthattunk ezzel kapcsolatban. Ezekből egy példa az alábbi térkép, Tóth L. és Mónus P. munkája (2. ábra). Ez a térkép a General Mapping Tools (GMT, lásd: Hivatkozások) programcsomag segítségével készült. Ez a program szabadon letölthető és használható. A 2. ábrán látható, hogy valóban nagyon sok földrengés íródott egymásra.

Megpróbálkozhatunk kevesebb adatot ábrázolni, mégpedig magnitúdó szerint válogatva a katalógusban. A 3. ábrán az $M \geq 3,2$ míg a 4. ábrán az $M \geq 3,6$ rengések epicentrumainak eloszlását ábrázoltuk. Azonban még mindig nagyon sok az egymásra írt jelekkel borított terület.

A kartográfia többféle megoldást kínálhat számunkra. A legkézenfekvőbb a térképi általánosítás, vagyis generalizálás alkalmazása lenne. A generalizálás a térképszerkesztésnek az a folyamata, melynek során a térképen megjeleníthető információk közül *ki kell válogatni* azt az *adatmennyiséget*, amely az adott méretarányú térképen még ábrázolható és ugyanakkor a térkép céljának szempontjából a leglényegesebb ismereteket közvetíti a valóságról a térképolvasó számára [KLINGHAMMER, PAPP-VÁRY 1985; STEGENA 1985; WITT 1971]. Nagy méretarányban természetesen nem jelent problémát az egyes földrengések helyének ábrázolása. A méretarány csökkenésével elképzelhető lenne a Töpfer-szabály alkalmazása, mely matematikai úton történő generalizálást jelent:

$$n_f = n_a \sqrt{\frac{M_a}{M_f}},$$

ahol

n_f – objektumszám a levezetett méretarányban,
 n_a – objektumszám a kiindulási méretarányban,
 M_a – kiindulási méretarányszám,
 M_f – levezetett méretarányszám.

A képlet a kiindulási és a levezetett térkép méretaránya, valamint a két térképen ábrázolt objektumok mennyisége között ad meg összefüggést. A szabályt alapul véve, és abból a feltételezésből kiindulva, hogy egy 1 : 100 000-es méretarányú térképen az adatok mindegyikét fel tudjuk tüntetni, a Kárpát-medencét ábrázoló 1 : 3 000 000-s térkép objektumszáma 22000-ről (nem minden katalógusba került eseményhez tartozik magnitúdó) 4000-re csökken. Magnitúdó szerint válogatva a katalógus adataiból az $M \geq 3,6$ méretű események száma 2510, ami már az ábrázolható számú objektumokra történő csökkenést jelenti a Töpfer-szabály szerint. A földrengés szempontjából viszont az aktívabb területeken az egyes jelek még így is áttekinthetetlenek.

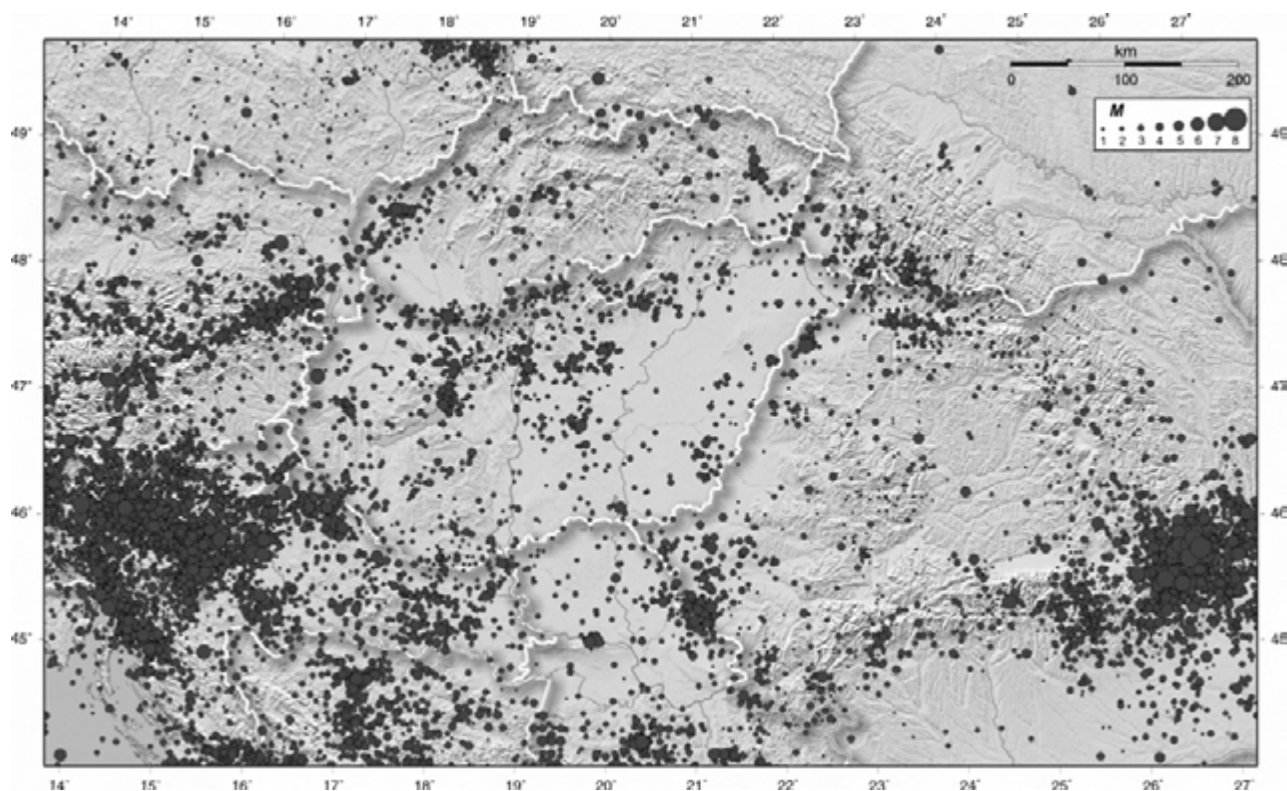
A szabály alkalmazása során a katalógusban tárolt adatok magnitúdóértéke – amely esetünkben nagyon fontos – elsikkad. A generalizálást követően az adott esetben érdekes, kisebb rengések sem jelennének meg.

A megjelenítés szempontjából megoldásként kínálkozhat a földrengések számának statikus 3D-s felületként történő alkalmazása, valamint dinamikus térkép készítése a rengések időbeni változásának bemutatásával.

A másik megoldás a kartográfiában ugyancsak gyakran alkalmazott módszer, melynek során az egyik tematikus ábrázolási módszerről áttérünk egy másikra. Ez az ún. genera-

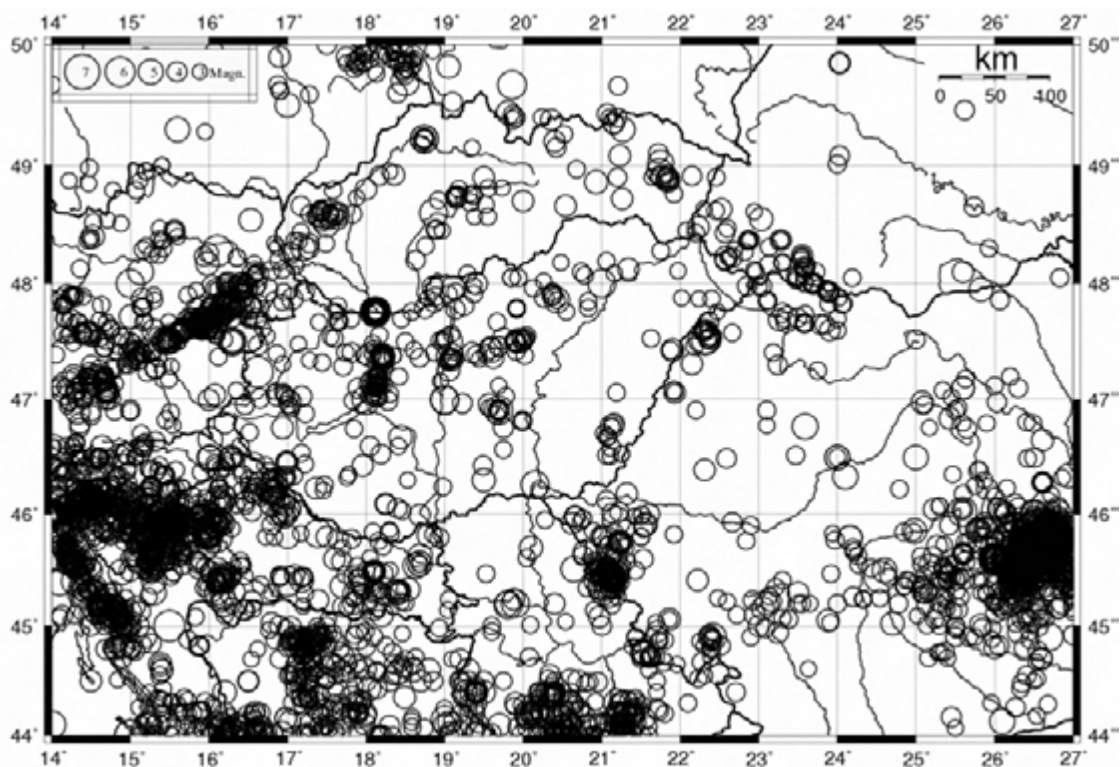
lizálási küszöb. Jelen esetben a pontszerű ábrázolásról áttérünk a felületre vonatkoztatott ábrázolásra. A vonatkozási felület háromféle lehet: statisztikai, földrajzi vagy mértani. A statisztikai felület valamilyen közigazgatási egység, a földrajzi felület hasonló természeti és társadalmi jelenségek által körülhatárolt terület, a mértani pedig valamilyen rács-hálót jelent. A földrengések ábrázolásának esetében különösen ez utóbbi módszer alkalmazása indokolt.

Ebből az elgondolásból kiindulva arra a következtetésre jutottunk, hogy célszerű lenne, ha az epicentrumok ábrázolása helyett az ábrázolt terület egy kis elemére eső rengések számát határozhatnánk meg. Ebben az esetben nem tudnánk külön jelölni az egyes földrengések méretét, de lehetőség lenne egy az általunk kiválasztott magnitúdóértékbe eső rengések számát szemléltetni. Erre példa az 5. ábra. A térképet a következő módon szerkesztettük. Felosztottuk az ábrázolandó területet $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ méretű rácsokra, és leválogattuk a katalógusból az adott négyzetrácsba eső földrengések számát. Az ábrán bemutatott esetben 538 db $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ rácselem tartalmazott legalább 1 földrengést ($456-2006$, $M \geq 2,0$). A legtöbb esemény, amely egy ekkora elemre esett, 525 volt. E módszer segítségével áttekinthetőbb a térkép, valamint nagyobb hangsúlyt kapott Dunaharaszti és Kecskemét, továbbá a Móri-árok környéke, ahol jelentős számú magyarországi rengés volt. A földrengések ilyen ábrázolása újszerű – mondhatnánk, idegen –, és nagyon eltér a megszokottól. Azonban az egységnyi rácselemre eső eset-számok nagy eltérése miatt (525 és 1) ezek egyszerre történő ábrázolása továbbra sem szemléletes, hiszen továbbra is



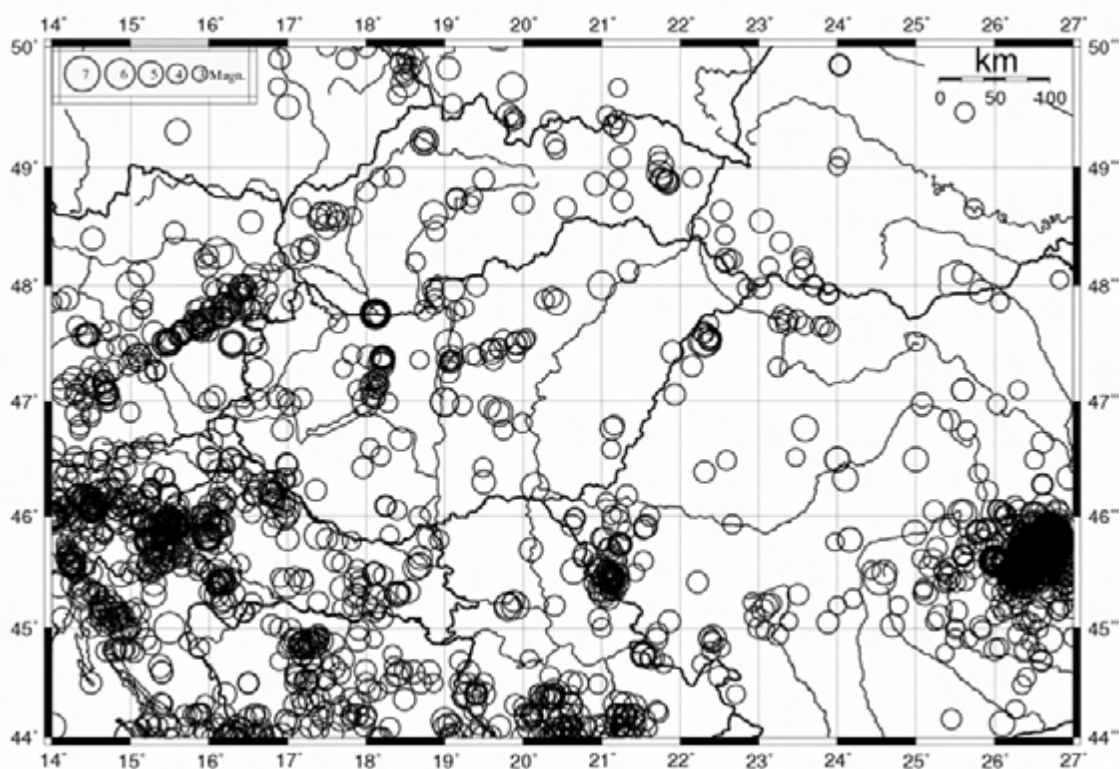
2. ábra. A földrengések epicentrumainak eloszlása a Kárpát-medencében és környékén 1946 és 2004 között. A körök átmérője a magnitúdóval arányos. Szerkesztette Tóth L. és Mónus P. GGKI Földrengésjelző Observatóriuma

Fig. 2. Distribution of earthquake epicenters in the Carpathian Basin between the years 1946 and 2004. Diameters of the circles are proportional to the earthquakes' magnitude. Compiled by L. Tóth and P. Mónus



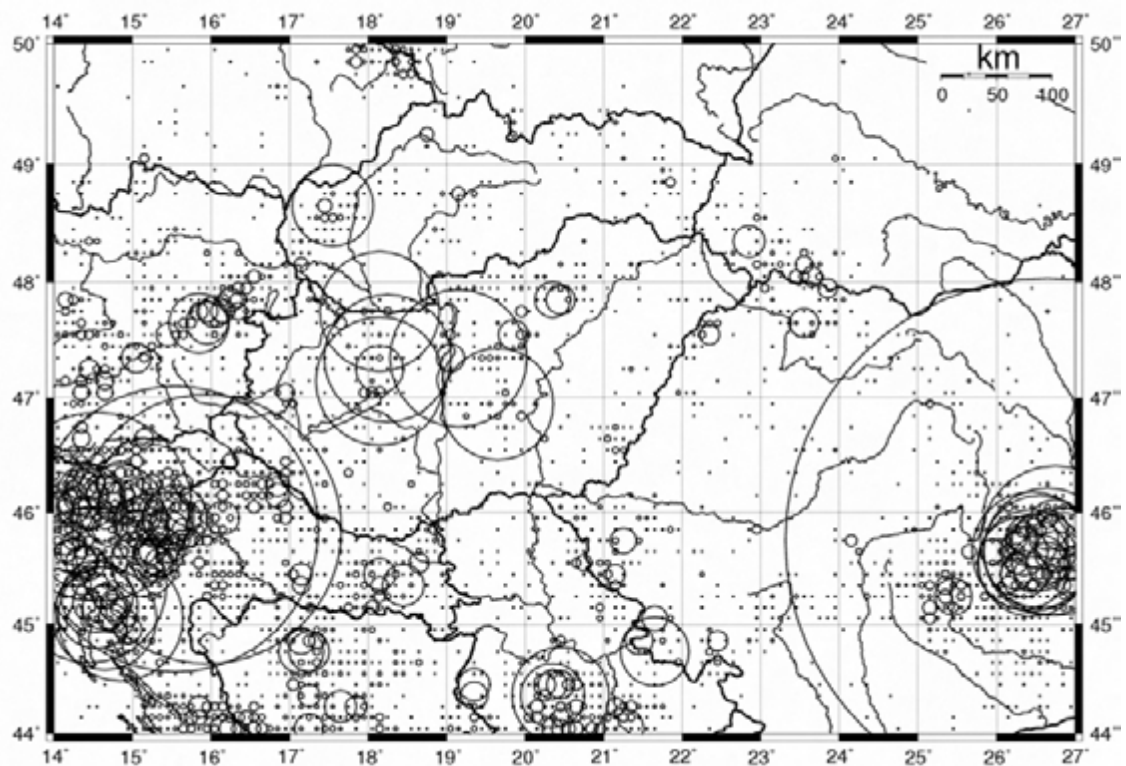
3. ábra. Az $M \geq 3,2$ magnitúdójú földrengések epicentrumainak eloszlása. Rengések száma: 4863

Fig. 3. Distribution of earthquakes of magnitude $M \geq 3.2$. Number of earthquakes: 4863



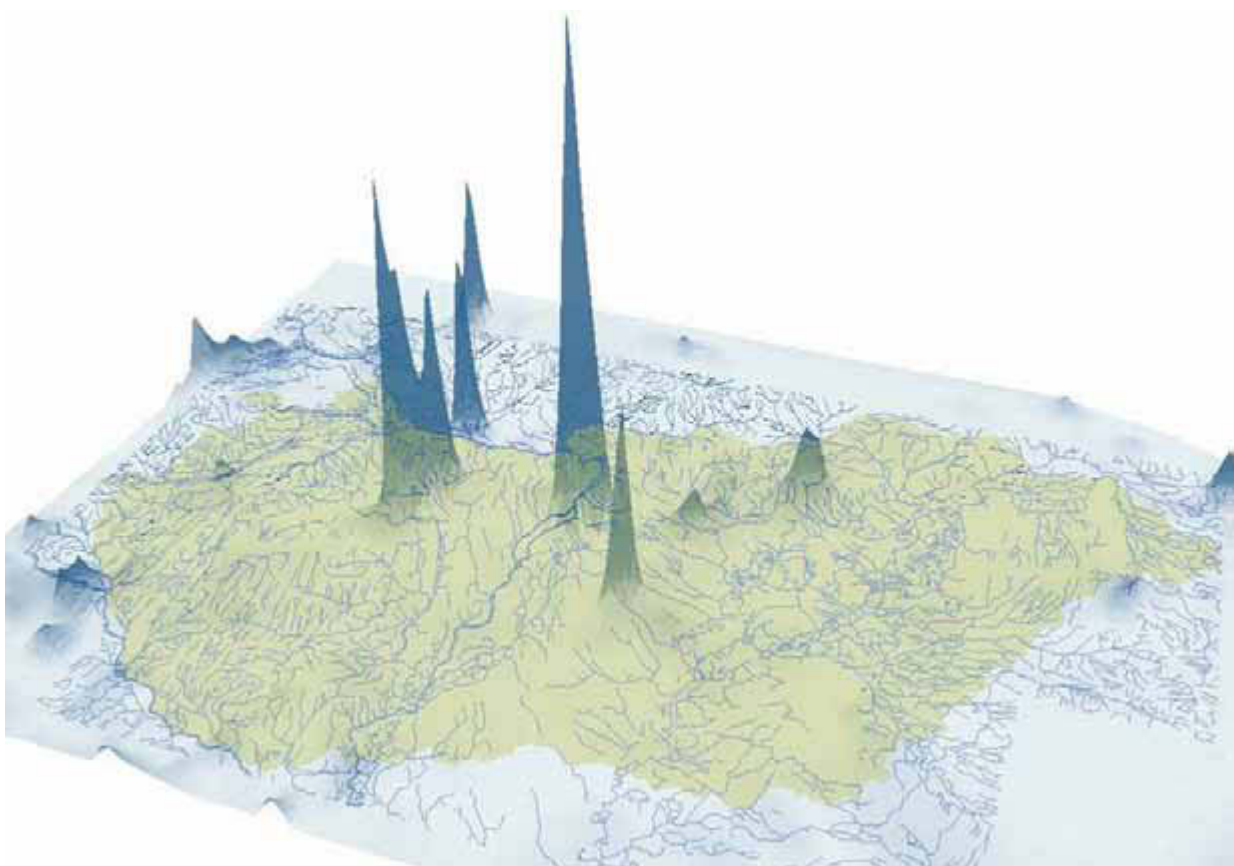
4. ábra. Az $M \geq 3,6$ magnitúdójú földrengések epicentrumainak eloszlása. Rengések száma: 2510

Fig. 4. Distribution of earthquakes of magnitude $M \geq 3.6$. Number of earthquakes: 2510



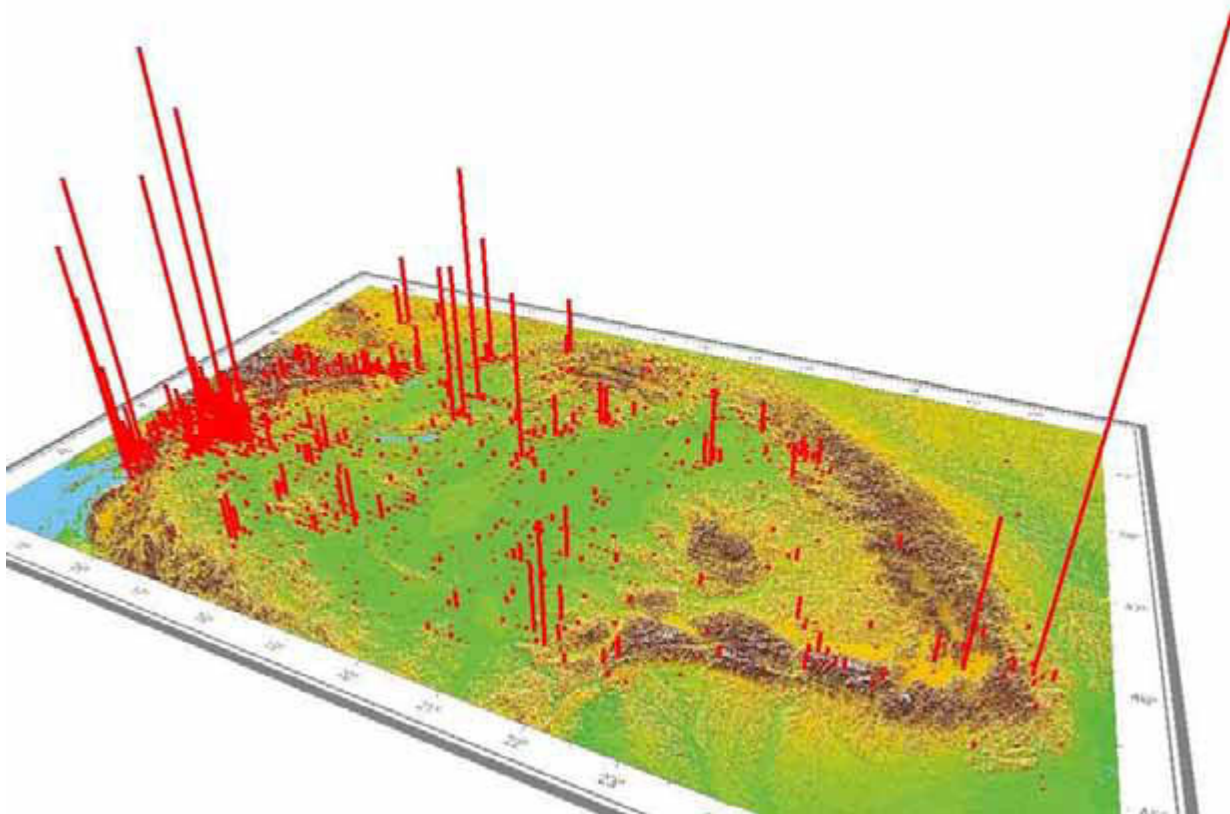
5. ábra. Az $M \geq 3,6$ földrengések $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ méretű rácsra eső száma 456 és 2006 között. Rengések száma: 2510

Fig. 5. The number of $M \geq 3,6$ earthquakes within an $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ element of the grid between the years 456 and 2006.
Number of earthquakes: 2510



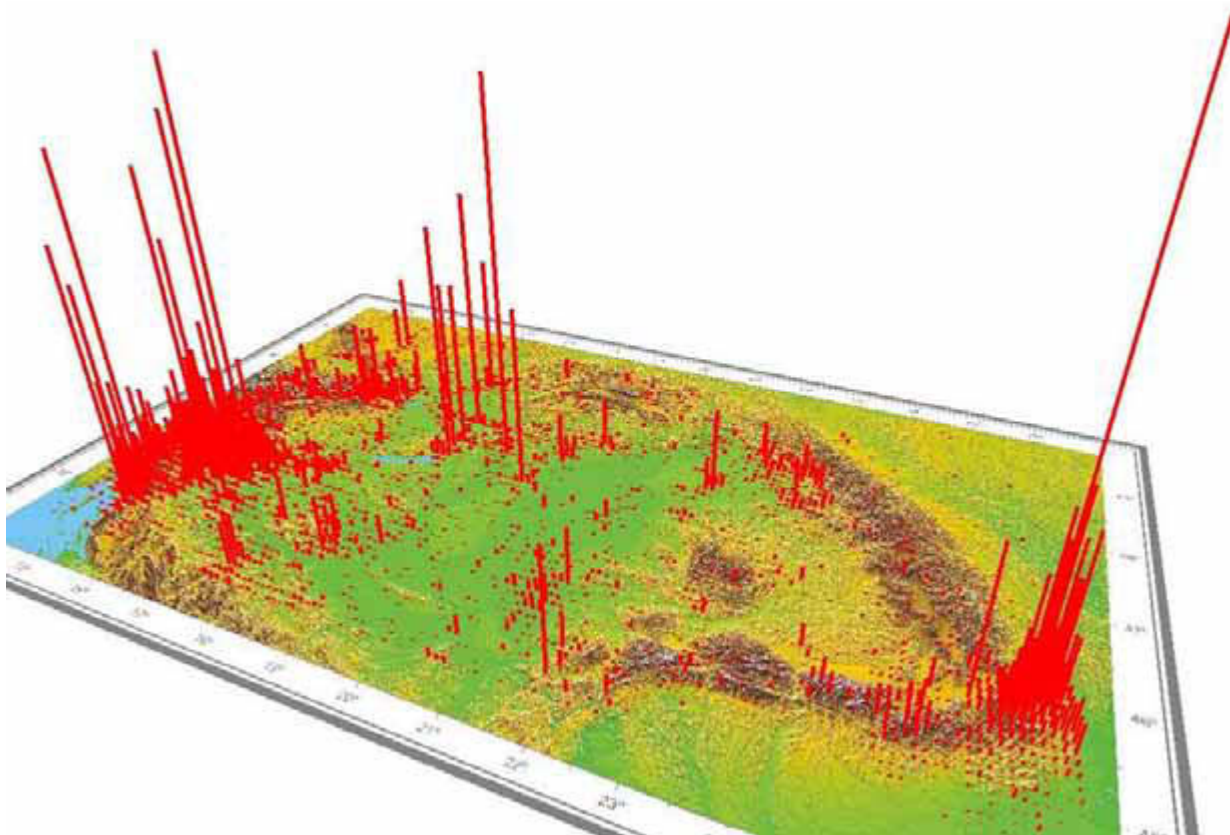
6. ábra. Az egy négyzetrácsra eső földrengések számát felületként ábrázoltuk

Fig. 6. The number of earthquakes within one element of the grid is represented as a surface



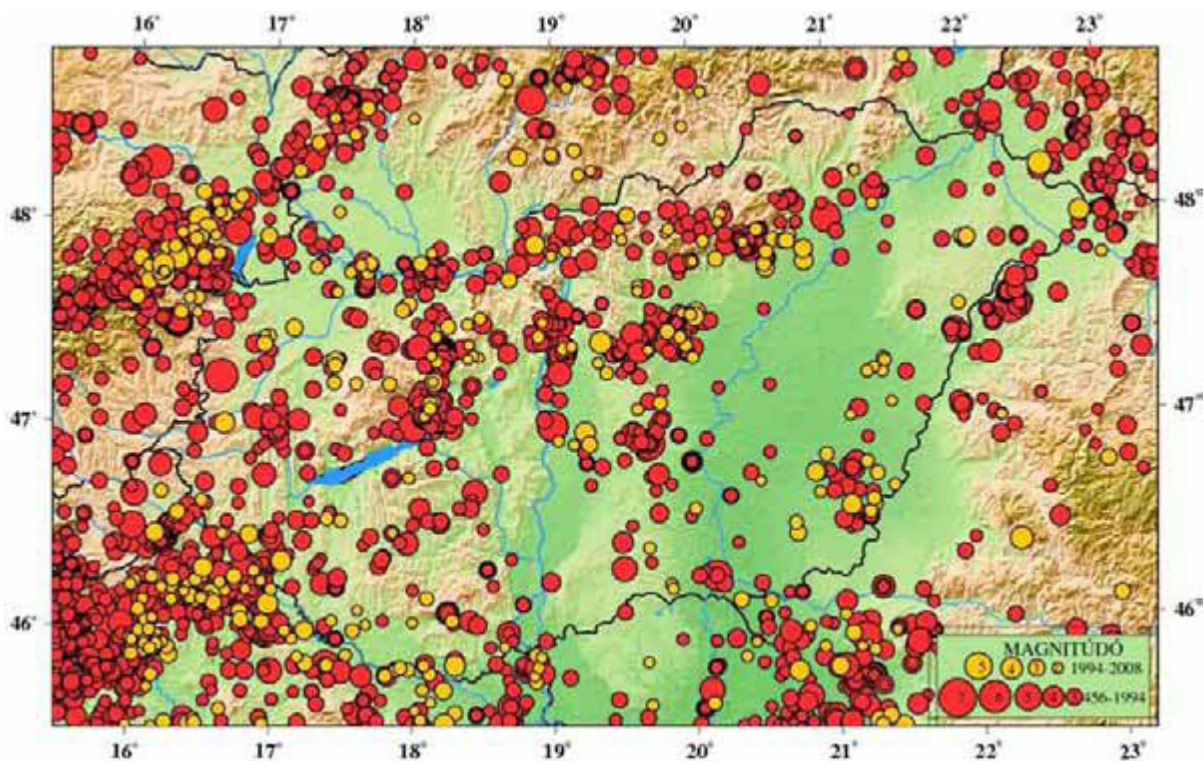
7. ábra. 456 és 1945 közötti rengések egy-egy rácselemre eső száma

Fig. 7. The number of earthquakes within one element of the grid between the years 456 and 1945



8. ábra. 456 és 2003 közötti rengések egy-egy rácselemre eső száma

Fig. 8. The number of earthquakes within one element of the grid between the years 456 and 2003



9. ábra. A földrengések epicentrumainak eloszlása a Kárpát-medencében és környékén 456 és 2009 között. A körök átmérője a magnitúdóval arányos

Fig. 9. Distribution of earthquake epicenters in the Carpathian Basin between the years 456 and 2009. The diameter of circles is proportional to the magnitude of the earthquakes

vannak területek, ahol a jelek zavaróan egymásra íródnak, illetve a nagyobb körök esetén már nem kötődik a jel az epicentrumhoz, vagyis a rácselemhez.

Az eredmény javítása érdekében kisebb területre (45,5°–49° É, 16°–23° K) korlátoztuk a földrengések területi eloszlásának a bemutatását. A rácselemek száma ebben az esetben 2556, és a maximális eseményszám 260. Ezt a megoldást alkalmazva a földrengések összes száma megfelelhet egy képzetes, háromdimenziós felület térbeli z komponensének. Ezt felületnek tekintettük, és 1000-szeres torzítással ábrázoltuk a 6. ábrán. Szépen láthatók az aktív területek (Dunaharaszti, Kecskemét, Móri-árok, Eger, Jászság). Az ábrán azokat a földrengéseket ábrázoltuk, melyeknél $M \geq 1$ volt. Ez több mint 5000 eseményt jelentett. Egy saját fejlesztésű program segítségével a teljes adatbázisból le lehet válogatni az adatokat úgy, hogy be tudjuk állítani a rácselemre való felbontás egységét, a terület nagyságát és az évek hosszát, amelyre a rengések számának összegzését kívánjuk megadni. Így egy olyan adatsort kaptunk, mely megadja egy adott felületelemre eső, meghatározott időintervallumban detektált földrengések számát.

A különböző hosszúságú időintervallumokra történt eseményszámok összegzése lehetővé teszi a földrengések időbeli eloszlásának ábrázolását.

Időpont

Ez a legproblematisabb része az ábrázolásnak. Az ábrázolás céljától függően két megoldandó kérdés jelentkezik. Ha azt szeretnénk bemutatni, hogyan változik az időben a

földrengések magnitúdója és elhelyezkedése, akkor a legcélszerűbb megoldás bizonyos időintervallumok statikus térképének elkészítése (a fent leírt módszert alkalmazva) és ezek egymásra vetítése, vagy például egy csúszka mozgatásával a térkép olvasója be tudja állítani az idő múlását, és ezzel párhuzamosan változik a térkép [IMHOF 1972; ZENTAI 1997]. Az előbb felsorolt okok alátámasztják, hogy valamilyen 3 dimenziós ábrázolási mód választása a legcélravezetőbb, továbbá olyan szoftver alkalmazása, mely képes „kvázi” mozgókép létrehozására. Ezek a kívánalmak egyszerű grafikus szoftverrel nem megoldhatóak [KRAAK, ORMELING 2003]. A 7.–8. ábra az ArcGIS (lásd, Hivatkozások) térinformatikai programcsomag segítségével készült. Ez a program már nem ingyenes, és használata is kisebb-nagyobb tanulást igényel, de számos új lehetőséget nyújt számunkra.

A 7.–8. ábra már szemléletesen mutatja, hogy milyen sok földrengés jut egy-egy rengéses terület rácselemre. Az ArcGIS programcsomag lehetővé teszi a térkép forgatását, billentését, sőt mozgóképet is kaphatunk egymás utáni időszakok adatait folyamatosan vetítve. Viszont az alaptérképhez tartozó elemek, pl. koordinátaértékek, esetleg egyéb térképfeliratok rajzi minősége ebben az esetben csökken.

Kategória: szín

Amint az előzőekben felsoroltuk, számos leíró adat kapcsolható a földrengésekhez, melyek segítségével számos fontos információ nyerhető ki a földrengésekre vonatkozóan. Ezeket a tematikus kartográfia jól bevált ábrázolási módszereivel mutathatjuk be térképeinken [KLINGHAMMER,

PAPP-VÁRY 1985]. Ilyen leíró adat például a fészekmechanizmus. Az ide vonatkozó leíró adatok rendezése kategorizálással, megjelenítése színek segítségével megoldható. Fontos bemutatni a detektáló állomások térbeli elhelyezkedését is egyezményes jel és szám segítségével.

A *méret* (magnitúdó vagy intenzitás) megjelenítésénél az előzőekhez hasonlóan felmerülhet egy térbeli diagram alkalmazásának a lehetősége, de pozitív irányban.

A 9. ábra a jelek színe és mérete szerint kombinált térkép. Itt eltérő színnel ábrázoltuk az 1995–2009 között kipattant földrengéseket, méretüket a jel nagysága tükrözi.

Összefoglalás

A Kárpát-medence és környezetében kipattant földrengések epicentrumainak ábrázolásával bemutattuk, milyen kartográfiai lehetőségek állnak rendelkezésre nagy adatrendszerek ábrázolása számára. Érdemes kipróbálni új, számítógépes grafikus programokat, ugyanakkor ismernünk kell a választott ábrázolási mód határait. Sokszor szeretnénk egy adott térképpel egyszerre minél több információt közölni, de az adatok mennyiségének növekedésével egyre nehezebb feladatra vállalkozunk. Nagy adatrendszer esetén újszerű megoldásokkal is próbálkozhatunk, amely eltérhet az eddig megszokottól. Ha lehetőségünk van színes ábra szerkesztésére, még több információt adhatunk közre.

Vizsgálataink egyértelműen azt mutatták, hogy az adatok elemi cellákra történő konvertálásával, leválogatásával, valamint egy képzetes felület és a 3D-s ábrázolás alkalmazásával hatékonyan ki lehet fejezni a földrengéses területek elhelyezkedését a Kárpát-medencében.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni Tóth László és Mónus Péter kollégáinknak hasznos szakmai tanácsaikért, akik rendelkezésünkre bocsátották térképeiket, valamint az

ESRI Magyarország Kft.-nek, hogy lehetővé tették az általuk forgalmazott szoftver használatát, melyekkel az ábrák többsége készült.

HIVATKOZÁSOK

- ARNBERGER E. 1966: Handbuch der thematischen Kartographie. Wien, Franz Deuticke
- ANSON R.W. (szerk.) 1988: Basic Cartography. London – New York, Elsevier Applied Science Publishers, Ltd.
- IMHOF E. 1972: Thematische Kartographie. New York – Berlin, Walter de Gruyter
- KITAIBEL P., TOMTSÁNYI Á. 1814 (1960, faksimile): Dissertatio de terrae motu in genere ac in specie Mórensi anno 1810. – Budae
- KLINGHAMMER I., PAPP-VÁRY Á. 1985: Tematikus kartográfia. Budapest, Tankönyvkiadó
- KRAAK M.J., ORMEILING F.J. 2003: Cartography: Visualization of Geospatial Data. Pearson Education, Ltd. ISBN-13: 978-0-13-088890-7
- MOLNÁR G., TIMÁR G. 2002: Az EOVS-koordináták nagy pontosságú közelítése Hotine-féle ferde tengelyű Mercator-vetülettel. Geodézia és Kartográfia **54**, 3, 18–22
- STEGEN L. 1985: Térképtörténet. Budapest, Tankönyvkiadó
- TÓTH L., MÓNUS P., ZSÍROS T.: Hungarian Earthquake Bulletin 1995–1999. Georisk, Budapest
- TÓTH L., MÓNUS P., ZSÍROS T., KISZELY M.: Hungarian Earthquake Bulletin 2000–2005. GeoRisk – MTA GGKI, Budapest
- TÓTH L., MÓNUS P., ZSÍROS T., BUS Z., KISZELY M.: Hungarian Earthquake Bulletin 2006–2008. GeoRisk – MTA GGKI, Budapest
- WITT, W. 1971: Thematische Kartographie. Hannover, Gebrüder-Janecke Verlag
- ZENTAI L. 1997: Számítógépes térképészet (kézirat) – Source material ITC, NL; modules jointly developed by ITC/CSLM and partially funded by PHARE HU 94.05. Székesfehérvár, 212. o.
- ZSÍROS T. 2000: A Kárpát-medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége: Magyar földrengés katalógus (456–1995). ISBN 963 8381 15 9

Internetes források:

GMT – GENERIC MAPPING TOOLS:

<http://gmt.soest.hawaii.edu> (Letöltés: 2009. december 02.)

ArcGIS Desktop Software: <http://www.esri.com/products/>

Az érc- és ásványbányászat múltja, jelene és jövője¹

ZELENKA TIBOR²

A hazai teljes nyersanyagvagyon egy kis részét képezi csak az 1949–1991 között szervezetiileg egy iparágba összevont 33-34 féle nyersanyagot felölelő *érc* és *ipari ásványok* csoportja.

Magyarországon és a Kárpát-medencében az elmúlt 1100 évben a nyersanyagbányászat feltételeit az alábbiak határozták meg:

- a terület *földtani viszonyai*,
- a mindenkori hatalmi viszonyok,
- az *aktuális gazdasági igény*,
- a nyersanyag-feldolgozás, vagyis a hasznos alkotórészek kinyerésének mindenkori *műszaki–technológiai színvonal*a.

Már Anonymus azt írta, hogy a honfoglalás egyik fontos szempontja az volt, hogy „folyóiban sok az arany”.

A fentiek alapján a 2010-ben a *Bányászati és Földtani Hivatal ásványvagyon-nyilvánartásában* szereplő „érc- és ásvány”-bányászati (ipari ásványok) nyersanyagok több szempont szerint csoportosíthatók. Mi a hasznosítható elemek vagy ásványok szerinti felosztást választjuk erre az állami nyilvántartással összhangban:

I. *Ércbányászati nyersanyagok* azok, melyekből a hasznosítható alkotók (fémek, elemek, ásványok) fizikai, kémiai vagy kohászati eljárással dúsíthatók, kinyerhetők. Fém tartalmuk alapján ezek a következők szerint csoportosíthatók:

1. *nemesfém érc*ek: arany – ezüstérc és fontosabb kísérő elemeik (Fe, As, Sb, Pt, Hg)
2. *színesfém érc*ek: ólom-, cink-, rézérc és fontosabb kísérő elemeik (Mo, Se, Cd, In)
3. *feketefém érc*ek: vas (oxidos, karbonátos, szilikátos, szulfidos) és kísérő elemei (Mn, Ba, P), *festékföld*ek: (Fekker, Mn-barna)
4. *mangánérc*ek (oxidos, karbonátos, szilikátos, szulfátos)

A bauxit- és az uránbányászat önálló bányászati iparág.

II. *Ásványbányászati nyersanyagok (ipari ásványok)* azok, melyek hasznos alkotói önálló ásványok, kőzetek. Ezek többnyire fizikai, kémiai eljárásokkal dúsíthatók:

1. *kő* tartalmú nyersanyagok: *kvarcitok* (limno-hidrokvarcit), *kovaföld*, *kvarchomokkő*, *kvarchomok* (öntődei, üveghomok, ipari homok), *kvarciszit*
2. *nemesanyag*-tartalmú nyersanyagok: *bentonitok* (fullerföld), *kaolin* (kovasavas, tűzálló) *illit*, *kaolinos homokkő*, *talkum*

3. *szulfát* tartalmú nyersanyagok: *gipsz*, *anhidrit*, *barit*, *alunit*
4. *földpáta* tartalmú nyersanyagok: *aplit*, *földpátos homok*, *kálitrachit*, *kálitufa*
5. *nagy tisztaságú karbonátok*: *dolomit* (porló dolomit, kohászati dolomit), *mész*kő (kristályos, puha, kréta)
6. *vulkáni üvegek*ből álló nyersanyagok: *perlit*, *szurokkő*, *horzskő-tufák*, *zeolitos tufák* (klinoptilolitos, mordenites, trasz), *hólyagos bazalt*
7. *alkáli* nyersanyag: fluorit

III. *A hazai érc- és ásványbányászat*. Nyersanyagok kutatási, bányászati munkáinak időbeli alakulása:

1. Középkor, XI–XVII. sz.

Nyersanyagkereslet: főleg a nemesfémek kinyerésére, a vas- és rézércre – a legfontosabb szerszámok, eszközök, később fegyverek nyersanyagára – irányult. A nemesfémek bányászata kezdetben kincstári monopólium volt, később magánvállalkozóknak adta bérbe az állam.

Bányászat. Kezdetben a kibúvásokon külszíni horpakutálás, -bányászat, majd földalatti táró-, vágat-, aknaművelés folyt. Főleg kézi fejtést, majd talicskás-tálas szállítást használtak. A helyszíni ércetörést őrlő malomkövekkel, mosással végezték, és az így nyert dúsítmányt kohósították.

Lelőhelyek: *Telkibánya*, Rudabányácska, *Rudabánya* a nemesfém dús oxidációs zónája.

Termelés: kis volumenű, viszont az akkori világpiacon számottevő mértékű volt a kárpát-medencei nemesfém-kinyerés.

Probléma: A kincstár mellett csak az akkori (felső-magyarországi) bányatársulatok, nagytőkések tudtak földalatti bányászati és feldolgozási technológiát fejleszteni (*Fuggerek–Thurzók*, XIV–XV. sz.). Az állandó (török, huszita, kuruc-labanc) háborúk és az azokkal járó tulajdonosváltások tönkretették az országot, azzal együtt a bányászatot.

2. Újkor, ipari forradalom a XVIII. századtól

Nyersanyagkereslet: a nemesfémek mellett bővül a fegyvergyártáshoz szükséges *vasérc* és *színesfém* (réz) iránti igény.

Szakképzés: Selmezbányán megindul a bányász szakemberképzés, Mária Terézia uralkodása alatt létrejött az Akadémia.

A bányászati technológia: a hatékonyság növelését a földalatti vágatokban a robbantásos jóvesztés (1736) bevezetésével, lőjárgányos aknák működtetésével, ércetörők (vízmeghajtásos törőüzemek), ércmosó üzemek, amalgamozók alkalmazásával segítették a hatékony kohászati fémkinyerés, olvasztás érdekében. A nyersanyaglelőhely közelében a kerámiaipar megteremtése (Hollóháza, Telkibánya, Sárospatak – kőedénygyártás) fejlesztette a bányászatot is.

¹ Az előadás az MGE „Új utak a földtudományban” címmel indított előadás-sorozata keretében 2010. január 20-án hangzott el.

² Dr. Zelenka Tibor, ny. iparági főgeológus, c. egyetemi docens

Lelőhelyek: Telkibánya, Rudabányácska, Nagyborzsöny – nemesfémbányászat megújítása (1780–1865), *Gyöngyös-oroszi, recsk-parádfürdői nemesfém-, színesfémkutatások* (Fazola Henrik), *recsk-lahócai enargitos rézérc* (1850) megtalálása és művelése, *cekeházi kovaföld* (1864), *füzér-radványi illit* (1820) feltárása, *rudabányai, martonyi* vasérc nagyüzemi művelése (1880) a vaskohászat érdekében.

3. Az I. és II. Világháború közötti időszak (1918–1944)

Nyersanyagkereslet: szinte minden területen a saját hazai ellátás érdekében, részben kincstári, részben részvénytársaságok (pl. Rima-murányi Rt.), valamint magánvállalkozók (Velti, Barna, Schmidt testvérek) kezdeményezésére, valamint külföldi (német) cégekkel együttműködve történt.

A bányászati technológia gépesítése lehetővé tette a nagy külfejtések (Rudabánya, Úrkút) föld alatti feltárórendszerek (aknák, altárók) létesítését és a bányászati kutatásokkal új lelőhelyek megismerését: *úrkúti mangán* (1917), *aplényi mangán* (1935), *pátkai, szabadbattyáni színesérc* (1938), *recsk-lahócai rézércflotálás* (1922), *rátka-koldui bentonit*, kaolin (1923), *mád-bombolyi kaolin* (1930), *bodrogszegi kaolin* (1936), *komlóskai bentonit* (1936), *budatétényi fullerföld* (1935), *sárospataki kaolin* (1924), *erdőbényei kovaföld* (1937). A kutatások földtani feladatait a MÁFI geológusai látták el.

4. A II. Világháború utáni időszak (1945–1990)

A *nyersanyagkereslet:* a politikai változások és a nyersanyaghiány miatt minden ércre és ásványra megnőtt.

A magánbányászat 1948–49-ben az államosítással megszűnt, és több szakaszban létrejöttek az állam által finanszírozott *állami bányavállalatok*, majd 1964-től az *országos érc- és ásványbányák*. Ezek a szervezetek szovjet mintára, központi tervutasításos rendszerben működtek. Ennek előnye az volt, hogy országos szinten koordinálták a kutatásokat. Kezdetben a *Központi Földtani Hivatal* állami finanszírozásával, később részben a vállalatok önköltsége terhére végezték a kutatásokat. A saját *kutatószervek* az OÉÁ saját fűrészi tevékenységét és bányászati kutatási munkáit végezték. A bányaművelés szakszerű végzése és értékelése a bányász szakemberek feladata volt, de a földtani kutatások és az ásványvagyon nyilvántartására létrehozták a bányageológiai szolgálatokat. A kutatásoknál és a bányatermelésnél az OÉÁ 7 területi egysége (*művek*) területén kb. 25 fő geológus és 25 fő geológusteknikus dolgozott. Ennek az egységnek *átlagosan évi 50–100 ezer méter magfűrés és 2000 méter vágat* adatainak feldolgozása, valamint a lelőhelyek értékelő jelentéseinek összeállítása volt a feladata. A geofizikai (földi, légi, mélyfűrészi, bányabeli) kutatásokat a MÁELGI végezte. A geokémiai terepi és laboratóriumi kutatásokat kezdetben a MÁFI, majd az 1960-as évektől az OÉÁ Kutató és Termelő Mű és laboratóriuma végezte.

1953-tól országosan egységesen vezették az éves ásványvagyon-nyilvántartást. Elkészítették a legfontosabb nyersanyagokra a nyersanyagkatasztereket és arra építve a hosszú távú kutatási terveket: *színesfém érc* (1961), *vasérc* (1963), *mangánérc* (1964), *bentonit* (1964), *kaolin* (1965), *üvegöntődei homok* (1966), *kovaföld, tűzálló agyag, kvarcit* (1967), *zeolit, speciális dolomit, mészkő* (1968–1969). A MÁFI a *perlit-* és az *alunitkatasztert* készítette el.

A kutatások eredményeképpen a ma művelt bányák és a nyilvántartott nyersanyagok döntő hányada ekkor váltak ismertté. Új, illetve kibővített területek, lelőhelyek (*székesfehérvári aplit, pátkai fluorit, recski mélyszinti színesfém érc, pálházai perlit, istenmezei, pétervársári, várkeszői bentonit, szerencsi kilitufa, fehérvárcsurgói, kisörsi üvegöntődei homok, felsőcsatári talkum, bánk-felsőpetényi tűzálló agyag, sárisápi kaolinos homokkő, sóskúti ipari kavicshomok, fel-németi mészkő, gyulakeszi, zebegényi puha mészkő, nemti saválló agyag, iszkaszentgyörgyi, alsótelekesi dolomit*) jöttek létre.

Új nyersanyagok, ill. lelőhelyei felismerésére (*rátikai, nemti és mezőzombori zeolitok, trasz, nagybózsai szurokkő, perkupai, alsótelekesi gipszanhidrit*) került sor.

Ebben az időszakban az érc és ásvány nyersanyagok éves termelése átlagban 4 Mtonna/év volt a mintegy 25féle nyersanyagot termelő 38 bányából. A nyersanyagok 50%-ból a kor technológiai színvonalán (törés-osztályozás, mosás, flotálás stb.) előkészített termékeket állítottak elő, és azt értékesítették a különböző felhasználók részére.

Az időszak végére a bányászatból elvonták az állami dotációt, és a nyersanyagárak világpiaci csökkenése, valamint a homogén termékek növekvő feldolgozói követelménye miatt elsősorban a veszteséges ércbányákat kezdték bezárni (*Recsk, Lahóca* 1978, *Rudabánya* 1986, *Gyöngyös-oroszi* 1987). Az időszak végére a legfontosabb nyersanyagfélések ásványvagyonának megkutatása legalább 10 éves távlatra megtörtént.

5. 1990–2009 közötti privatizációs időszak

A *nyersanyagkereslet* teljesen átalakult, a világpiaci árak meghatározóvá váltak. A korábbi KGST együttműködés és a külpiac jórészt megszűnt. A hazai bányászat és az előkészítés–feldolgozás *technológiája elöregedett*, nem volt tovább állami beruházási támogatás a bányászatban, ezért sorra zárták be a „nem gazdaságos” bányákat. A „jó bányák” esetében valamilyen nyugati céggel *közös vállalatot létesítettek*. Ezekben a helyi ismeretekkel és kapcsolatokkal rendelkező régi magyar bányász szakemberek csökkentett létszámmal ugyan megmaradtak, de a geológia és a kutatások megszűntek, hiszen 10–15 évre volt elég megkutatott vagyon. A nyugati partner a bányászati és feldolgozási technológia korszerűsítéséhez valóban hozzájárult, de az adókedvezmény mellett a nyereség jó részét kivitte az országból, majd az adókedvezmény megszűnte után többen kivonultak az országból (*Terranova, Navan, Duna-Dráva*), vagy *továbbadták a részvényüket egy másik külföldi, illetve magyar érdekeltségnek*. A működő bányák körzetében egy-két kivételtől eltekintve (*Perlit-92 Kft.*) *nem kutattak*.

Visszatérve *aránykutatásba* közel 10 nyugati kis- és nagyvállalat fektetett be. Ezeknek a kutatásoknak 2-3 helyen jelentkezett szerény eredménye (*Recsk enargit, Füzér-radvány*). Ezek közül ma a *legtöbb külföldi* és egy-egy tőkeerős *magyar vállalkozó* arra törekszik, hogy kutatási engedéllyel minél több területet fedjen le és ott minimális kutatást végezzen, majd azután jó haszonnal adja tovább a területet. Ez a *tevékenység hasonlít* a „modern gyarmatosítás” gazdaságpolitikájára. Ezt még fokozza, hogy a természetvédelem a hazai föld ásványvagyonát nem tekinti védendőnek, ezért minden új bányanyitást igyekeznek megakadályozni.

A gazdasági válság hatása a kis volumenű bányák termelésének szüneteltetéséhez vagy a bányák bezárásához vezetett. A megmaradt működő bányák esetében is az éves termelés számottevő csökkenése mutatkozik. Egyetlen működő ércbánya maradt, az *úrkuti* Mn-bánya. Nemzetközileg jegyzett nyersanyagunk csak a *pálházi perlit*, mely kedvező feldolgozási tulajdonságainak köszönhetően a világ perlittermelésében az ötödik helyen áll. Sajnos a hazai perlitduzzasztás visszaesése miatt a nyers perlit túlnyomó többségben exportra kerül. A viszonylag nagy termelési kapacitású, jó minőségű homok, mészkődolomit-bányák termékeire csökkenő mértékben, de még van igény.

Távlatban a *recski mélyszinti színesfémérc-bánya* megnyitása lehet még reményteljes.

Jelenleg ugyan még működik kb. 20 féle nyersanyag termelése, de ezekből 10 db-nak van csak jelentősebb volumene (*üvegöntődei homok, karbonátos mangánérc, minőségi dolomit és mészkő, perlit, zeolitok, kohászati mészkő és dolomit, kerámiai agyagok*). Ezek éves össztermelése kb. 3,0 Mtonna.

- CSEH-NÉMETH J. 1979: Az érc- és ásványbányászat iparági bányaföldtani megfigyelései, dokumentálási rendszere, legfontosabb kutatási programok. Földtani Közlemények **109**, 3–4, 449–458
- CSEH-NÉMETH J. 1969: A geofizikai adatok felhasználása az érc- és ásványbányászati földtani kutatásokban. Magyar Geofizika, **10**, 5, 180–185
- GAGYI PÁLFFY A. 1968: Az érc- és ásványbányászat helyzete és jövője. BKL Bányászat, **101**, 1. sz.
- KUN B. 1989: 25 éves az Országos Érc- és Ásványbányák. OMBKE, Budapest, 1989, 1–311
- MÁTYÁS E. 1979: A tokaj-hegységi ásványbányászat bányaföldtana. Földtani Közlemények **109**, 3–4. sz.
- VARJÚ GY. 1959: Magyarország termelésben lévő nemesanyagjai. Földtani Közlemények **89**.
- ZELENKA T. 1989: A hazai érc- és ásványkutatás helyzete és eredményei. BKL Bányászat **122**, 9, 579–582
- ZELENKA T., JUHÁSZ A. Z. 1988: Magyarország nemfémes ásványi nyersanyagainak földtani és ásvány-előkészítési kutatása az elmúlt 5 évtizedben. Építőanyag **50**, 4, 128–133

Még egyszer Magyarmecskéről

NEMESI LÁSZLÓ

Országunk legnagyobb elektromos vezetőképesség-anomáliája Pécs közelében, Magyarmecskétől K-re található. A Dráva-medencében 1960-ban kezdődő tellurikus mérések-nél az ELGI kutatói tapasztalták azt a meglepő jelenséget, hogy míg a tágabb környezetben szép és viszonylag nagy amplitúdójú pulzációkat sikerült regisztrálni, itt alig volt mérhető jel. A kutatások 1963-ban folytatódtak, mikor is tellurikus méréssel sikerült az anomáliát lehatárolni, és nagy mélységű, egyenáramú szondázásokból azt lehetett látni, hogy itt „nincs nagy ellenállású aljzat”.

A jelenség az évek múltán többször is felkeltette a kutatók érdeklődését, hisz sem gravitációs, sem mágneses anomáliával nem párosult a vezetőképesség-anomália, sőt a harmadkori aljzat sebességében sem volt olyan szembetűnő különbség, mint az elektromos paraméterekben.

Talán az egyik érdekes térképet az 1970-es évek második felében Kassai Miklós, a MÁFI D-Dunántúli Kirendeltségének vezetője készítette: a D-Dunántúl szeizmikus és elektromos aljzat mélységének különbségtérképét. Ebből többek között az is egyértelmű lett, hogy a Dráva-medencében az „elektromos aljzat” 500–1000 m-rel mélyebb a „szeizmikus aljzathoz”. Az elsősorban olajipari és más harmadkori aljzatot ért fúrásokból egyértelműen kiderült, hogy ez a jelenség Szulok-Kálmáncsától Bogádmindszentig, Tésenyig ott fordul elő, ahol a pannonkorú üledékek alatt nem ópaleozoós kristályos kőzetek, hanem karbonkorú üledékek vannak. Ezeknek a szeizmikus sebessége, sűrűsége nem különbözik lényegesen az idősebb aljzatképződményekétől, de fajlagos ellenállásuk vagy megegyezik a pannonéval, vagy még lényegesen kisebb is annál.

Aztán amikor az OKGT Szeizmikus Kutatási Üzeme 1971-ben a Dráva-medencében „modern” szeizmikus méréseket végzett, a KFH (Ádám Oszkár) megrendelt egy, a magyarmecskai tellurikus anomáliát dőlésirányban harántoló szeizmikus szelvényt, amely jelezte, hogy a pannon üledékek alatt egy hirtelen elmélyülő medence van. Ebbe a medencébe fúrták Bogádmindszentnél azt a földtani alapfúrást, amely egyértelműen bizonyította, hogy ebben a „gödörben” karbonkorú üledékek vannak 1000 m-nél nagyobb vastagságban. A fúrómagmintákból és a karotázsszelvényekből az is kiderült, hogy a kristályos masszívumok lepusztulásából származó konglomerátumok, homokkövek ugyan 60–80 Ωm fajlagos ellenállásúak, de a viszonylag vékony széncsikok nagyságrendekkel kisebb ellenállásúak. Például a bogádmindszenti fúrásban 1200 m mélységben egy 20 m vastag metaantracit csík is van, amelynek a karotázsszelvényen „0” Ωm volt a fajlagos ellenállása, a MÁFI laboratóriumában vizsgált magjai fajlagos ellenállását meg 0,1–0,02 Ωm -nek mérték. Fűtőértékét 8000 kalóriájúnak. Ettől kezdve arra gondoltunk, hogy a Dráva-medence karbonkorú összleteinek átlagos fajlagos ellenállása a viszonylag vékony széncsikok mennyiségétől függ. Konkrétan Magyarmecske K-i

határvidékén – a legnagyobb vezetőképességű elektromos anomália közepén – ez a metaantracitos összlet sokkal vastagabb lehet, sokkal több széncsik lehet, mint pl. Bogádmindszentben.

Az anomália korszerűbb, digitális tellurikus és magneto-tellurikus újramérésére is sor került a 90-es évek legelején a KFH megbízásából, aminek kapcsán az lett egyre világosabb, hogy a Magyarmecskénél mintegy 400 m mélységű pannon fekvő alatt a 0,1 Ωm -es átlagellenállással jellemezhető összlet 800–1000 m vastagságú. Jó lett volna itt is egy fúrás. Az utóbbi évtizedben fel is vetődött, hogy talán egy erőműben antracitot kellene tüzelni, de aztán inkább a biomassza mellett döntöttek. (Kár, hogy ebben ma sok vagonnyi fát égetnek biomassza helyett). És persze a korábbi évtizedekben is számtalanszor felmerült, hogy jó lenne itt egy földtani alapfúrás. Az ELGI minden évben tehetett javaslatot a KFH-nak erre, de a feljebbvaló döntéshozók mindig fontosabbat találtak Magyarmecskénél, „hisz ebben a gödörben már mélyült egy alapfúrás Bogádmindszentnél”.

Az új fordulatot (sajnos csak az értelmezésben) a 2004-es év *Magyar Geofizikában* megjelent cikkei hozták, amikor Bodoky Tamás és kollégái a magyarmecskai elektromos anomáliát egy 350 millió év előtti meteor becsapódási kráterként értelmezték, amelybe a későbbiek során üledékes összletek települtek, netán visszahullottak. Az érdekes, új értelmezés felkeltette a kutatók érdeklődését, és most már több tellurikus anomáliánál is keresik a krátert. Előadások, itthon és külföldön – sőt, a legutóbbi pécsi vándorgyűlésen Kakas Kristóf már a pécsi oktatási intézmények ifjúságának is bemutatta a magyarmecskai meteoritot.

Na ez már nekem így sok! Azért a meteoritbecsapódás is csak egy feltételezés, meg a metaantracit is. Csak hát, ki látott, hallott már olyan kis ellenállású, sósvízzel átitatott, törmelékes „üledékről”, amelynek ilyen kicsi a fajlagos ellenállása. De azért, e gödör szélén azt az üledékes kőzeteknél nagyságrendekkel kisebb fajlagos ellenállású, üledékes metaantracitot konkrétan ki is szedték a bogádmindszenti fúrólyukból.

Végül tehát én elfogadom azt a feltételezést is, hogy a magyarmecskai vezetőképesség anomália, vagy akár az ópaleozoós aljzatban létező gödör létrejöttében még meteorit is játszhatott szerepet, de ez esetleg csak az ott talált (és a Dráva-medence mély területein nagy kiterjedésben előforduló) karbonszenes összlet szénülési fokát növelhette meg, netán a grafitosodásig. Esetleg maga az ott szunnyadó meteorit valamilyen, az elektromos áramot jól vezető fémes anyag. Azonban amíg nem bizonyosodott be, hogy ott még sincs 8000 cal. fűtőértékű metaantracit, addig ezt az értelmezési lehetőséget se hagyjuk ki. Főleg a hazai vizeken, a felnövő ifjú szakemberek előtt ne. Egy olyan országban, ahol – miután bezártuk szénbányáink sorát, meg az uránbányánkat, és a bányászok szociális segélyből élnek – teljesen ki vagyunk

szolgáltatva a külföldről egyre drágábban érkező gáznak, az ukrán–orosz vitáknak, gázcsap-elzárásoknak, a hatalmas pénzekért építendő új gázvezetékkel kapcsolatos ötleteknek, miközben az erdő fáit tüzeljük az erőműben. Ráadás-

ként a „megújuló energiákat” emlegetők felsorolásában még a geotermikus energia fogalma is hiányzik, vagy nagyon ritkán szerepel, pedig ebben is világviszonylatban kedvező adottságaink vannak.

Hozzászólás Nemesi László „Még egyszer Magyarmecskéről” című fenti cikkéhez

BODOKY TAMÁS

Hozzászólásomat szeretném azzal kezdeni, hogy teljes mértékben egyetértek Nemesi László fenti cikkének végszávaival, miszerint egyrészt nagy szüksége van országunknak a jó minőségű mecseki szénre, másrészt a magyarmecskei tellurikus vezetőképesség-anomália okát a karbonösszet szénttartalmának grafitosodásában kell keresnünk. Ezt az utóbbit Ádám Antal már 1980-ban leírta [ÁDÁM 1980], rá hivatkoztunk a témát lezáró cikkünkben is [BODOKY et al. 2007]. Tekintve, hogy más magyarázattal eddig még senki sem tudott szolgálni, a kérdés nem az, hogy mi okozza a magyarmecskei tellurikus vezetőképesség-anomáliát, hanem az, hogy a nagyobb területen megtalálható karbonösszet szénttartalmának miért pont itt és csak itt változott meg a vezetőképessége? A szén grafitosodásának fizikai feltételeit is figyelembe véve erre a kérdésre kívánt a „meteoritkráter”-hipotézis válaszolni. Egyébként ezt a hipotézist a geofizikai adatok elég meggyőzően alátámasztják. A magyarmecskei krátert a nemzetközi meteoritkráter-katalógusok a négyfokozatú skálán (fokai: bizonyítottan, valószínűen, lehetségesen és bizonyítottan nem meteorbecsapódás eredménye az adott kráter) a második fokozatba, tehát a valószínű meteoritkráterek közé sorolják (pl. <http://omzg.sccc.ru/impact/>

english/html). Bizonyítottá csak egy mélyfúrás magmintáinak ásványtani vizsgálatával válhatna, ami mélyfúrás hiányában jelenleg nem lehetséges.

Nemesi felhívja a figyelmet a bogátmindszenti fúrásban talált 20 m vastag, kis ellenállású metaantracitra. Ha a metaantracit önmagában megválaszolná a kérdést, akkor ez a fúrás miért esik kívül az anomália területén?

Nemesi tiltakozik a „sós vízzel átitatott törmeléken üledék” ellen. A magyarmecskei kráterhipotézist három cikkben publikáltuk, de egyikben sem beszélünk „sós vízzel átitatott törmeléken üledék”-ről [BODOKY et al. 2004; BODOKY et al. 2006; BODOKY et al. 2007]. Madarasi András kiszámította, hogy ilyen mérvű vezetőképesség-változás ettől a feltételezéstől nem várható [MADARASI 2004].

Végül Nemesi felveti még a fém meteor lehetőségét. Itt ismét Madarasi Andrásra hivatkoznék, aki kiszámította, hogy egy rendkívül vékony (mikronos nagyságrendű) fémréteg viszont okozhatná az anomáliát, így ez a lehetőség valóban nem zárható ki [MADARASI 2004]. A meteor típusát nem határoztuk meg, de végül is egy fém meteor éppen úgy beilleszthető a kráterhipotézisbe, mint egy kő meteor. Ám, meg kell jegyezni, hogy a fém meteorok nagyon ritkák.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A. 1980: The change of electrical structure between an orogenic and an ancient tectonic area. *J. Geomag. Geoelectr.* **32**, 1–46
- BODOKY T., KUMMER I., KLOSKA K., FANCSIK T., HEGEDŰS E. 2004: A magyarmecskei vezetőképesség anomália: eltemetett meteorit kráter? *Magyar Geofizika* **45**, 96–101

- BODOKY T., KIS M., KUMMER I., DON GY. 2006: The telluric conductivity anomaly at Magyarmecske: is it a buried impact crater? 40th ESLAB – First International Conference on Impact Cratering in the Solar System – Proceedigs CD, Noordwijks, The Netherlands
- BODOKY T., DON GY., KIS M., KUMMER I., POSGAY K., SÖRÉS L. 2007: Is the Magyarmecske telluric conductivity anomaly a buried impact structure? *Central European Geology* **50**, 3, 199–223
- MADARASI ANDRÁS 2004: szóbeli közlések

HÍREK, BESZÁMOLÓK

A FÖLD BOLYGÓ NEMZETKÖZI ÉVE (2007–2009) ZÁRÁSA

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve zárókonferenciája (Lisszabon, 2009. november 20–22.)

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve (2007–2009; 2008-ban tematikus ENSZ-év) 2009. december 31-én hivatalosan véget ért. A nemzetközi záróülést 2009. november 20–22. között Lisszabonban tartották, amelyen Magyarországról Brezsnaynszky Károly, Szarka László, Kordos László, valamint a 2009. évi földtudományi OTDK két díjazottja: Jankovics Éva (ELTE) és Serfőző Róbert (ME) vett részt.

A lisszaboni rendezvényre egy könyvkiadvány is készült: ehhez a szerkesztők előzetesen minden országból a Földév egy különleges eseményéről kértek összefoglalást. Magyarországról e könyvben a nemzetközi Földév és a hazai Biblia Éve közös rendezvényének, a Föld és Ég (Geológia és Teológia) konferenciának angol beszámolója szerepel, amely mondanivalójával igen élénk visszhangot váltott ki. E beszámoló mondanivalója ugyanis, hogy a tudomány és a vallás – egymás értékeinek és illetékességének kölcsönös elismerése mellett – nem ellenfelei, hanem inkább szövetségesei egymásnak a mindenfajta áltudományos és álvallási köntösbe bújtatott tudatlanság és hiszékenység elleni küzdelemben.

Kiemelkedő munkájáért a mintegy 80 nemzeti bizottság közül 17 – közöttük a magyar – részesült elismerésben, a kitüntetettek egy csempe-világtérkép („azulejo”) darabjait kapták meg.

A Földév eredeti 10 témaköre (a globális környezeti problémák tíz komponense) közül a lisszaboni ülés tudományos része az energia, a talaj és a víz kérdésével foglalkozott. 20-án a „Renewable Energy” és a „Sustainable Land & Water Management” témaköröket tárgyalták. Másnap pedig – sajnos a nemzeti bizottságok ülésével egyidejűleg – a „Planet Ocean”-ról tartottak előadásokat. A záró nap az ismeret-terjesztése volt.

A megújuló energiák témakörében tudományos igényű előadások helyett közhelyeket, a koppenhágai klímacsúcsra készülés jegyében ismerős EU-szlogeneket kellett hallgatni. A „Sustainable Land & Water Management” szekció azonban már legalább a valóságról szólt, legalábbis annyiban, hogy felvillantotta a fejlett országok és a fejlődők ellentétét.

A nemzeti bizottságok ülésén minden országnak nyilatkoznia kellett arról, hogy – az eredeti terveknek megfelelően – be kívánják-e fejezni a nemzeti Földév-bizottság tevékenységét. (A Földév vezetése ugyanis egy Planet Earth Institute alapításán fáradozik.) A szakmai egyesületekkel nem rendelkező országok inkább a folytatás mellett, míg a nagyobb földtudományi hagyományokkal rendelkező országok – így Magyarország is – a befejezés mellett voltak. A magyar Földév-bizottság vezetése úgy gondolja, hogy a



Brezsnaynszky Károly és Szarka László a Földév lisszaboni záróülésén a magyar nemzeti bizottság kiváló munkájának elismeréseként kapott „azulejo”-val

meglévő tudományos és szakmai intézmények közös összefogásával világszerte, így Magyarországon is, tovább vihető a Földév gondolata. A 2008. áprilisi budapesti földtudomány-fesztivál tapasztalatai egyértelműen kijelölik a követendő utat. Eszerint az ismeretterjesztés terén össze kell fogniuk a különféle szakmai egyesületeknek, szervezeteknek, sőt éppen ez az az ügy, amely leginkább össze kell, hogy kösse őket. A Földév legfontosabb, már Párizsban kirajzolódtól felismerése pedig az, hogy az emberiség legnagyobb problémái (úm. túlnépesedés és túlfogyasztás miatt fenyegető, jövőbeni energia-, ivóvíz- és talajhiány) mind kötődnek a földtudományokhoz. A világ ma még csak a klímaváltozásról beszél, amely csak tünet, de nem a probléma maga.

A Földév fő mondanivalója a lisszaboni rendezvényen sajnos elsikkadt. Ennek látható jele, hogy – ellentétben a tavalyi párizsi nyitórendezvénnel – a honlapra az előadásokat nem tették fel. A Földév vezetése – nem tudni, mi okból (talán a portugál támogatók nyomására?) – elmulasztotta a tanulságokat összegezni.

Az IYPE tudományos programja pénzhiány miatt csak igen töredékesen valósult meg. Egyetlen látható eredménye a OneGeology elindulása. Az ismeretterjesztő program pedig a nemzeti bizottságok és szakmai egyesületek ügyesség-

gétől, lelkesedésétől függött. Az országokénti kormányzati támogatások térképi ábrázolásában Közép-Európában egy nagyjából konstans értékre szuperponálódott dipólusanomáliát képzelhetünk magunk elé, amelynek maximuma Ausztriában van (2008-ban pl. csak óriásplakátokra 100 ezer eurót költöttek), minimuma pedig Magyarországon (7 ezer euró). A Földév sikerességét illetően ugyanakkor Magyarországot Ausztriával együtt emlegetik, ami szerintem csak annyit jelent, hogy elég jól sikerült elleplezni a támogatások hiányát. A tömegmédiába egyébként a világon egyedül a braziloknak sikerült betörni, méghozzá azáltal, hogy elérték, egy televíziós szappanopera-folyam csinos főszereplőjének geológus legyen a filmbeli foglalkozása.

A Földév nemzetközi központjának anyagi nehézségeit jelzi, hogy sem a magyarországi Földév film elkészítését, sem pedig az itteni (IAGA világkonferencia alatti) Planet Earth TV áram- és őrzési díját nem fizették ki. A Planet Earth TV ötlete egyébként egyedül Magyarországon, a soproni IAGA konferencián valósult meg, még Lisszabonban sem volt Föld Planéta TV! (A filmkészítés díját megelőlegező egyesületek, köztük a Magyar Geofizikusok Egyesülete költségeinek megtérítéséről közvetlenül karácsony előtt döntött a Magyar Tudományos Akadémia.)

Az Amerikai Geofizikai Unió év végi találkozója (San Francisco, 2009. december 14–18.)

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve (2007–2009) a lisszaboni rendezvényt követően még a világ legnagyobb (16 ezer fős) földtudományi konferenciáján (American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, 2009. december 14–18.) is jelen volt. Egyrészt egy Union szekció (U11B: The Fruits of International Year of Planet Earth: Implementing Long-Term Activities) keretében összegezték a globális és nemzeti eredményeket, majd a konferencia alatti szakmai kiállítá-

son hat standon volt látható a Földév néhány jelentősebb eredménye.

Magyarország előadással – a Szarka L., Ádám J., Brezsnýánszky K., Haas J., Kakas K., Koppán A.: „Highlights and Impacts of the International Year of Planet Earth in Hungary” c. poszterrel (mivel a teljes szekciót végül poszterszekcióként tartották meg) és kiállítással is szerepelt. A kiállításon több kiadványt, köztük a magyar–angol nyelvű MÁFI geológiai au-



A magyar Földév-kiállítás asztala az Amerikai Geofizikai Unió 2009. évi San Franciscó-i konferenciáján

tós atlasz mellett rövid angol ismertetővel ellátott, magyar anyagokat mutattunk be. A vezetőséget Larry Woodfork (elnök), Werner Janoschek, Edmund Nickless, Wolfgang Eder képviselte az IYPE standokon. Az USA-t Jack Hess, Mexikót Jaime Urrutia, Európából pedig Ausztriát Werner Piller, Magyarországot képviselője, Szarka László. Több ország (pl. Csehország, Szlovákia) postán küldött kiállítási anyagokat.

A beszélgetések során többször szóba került a lisszaboni záróülés sikertelensége. Ezért az AGU-n jelenlévő összes Földév-képviselő részvételével rendkívüli nem hivatalos összejövetel szerveződött, amelyen az UNESCO képviselőjében Robert Missotten (az IYPE Board tagja) is részt vett. Megállapodás született arról, hogy egy hét fős bizottság –

észak- és dél-amerikai, európai, ázsiai, afrikai és ausztráliai tagokkal: Werner Janoschek (Ausztria, elnök), Jack Hess (USA, titkár), Edmund Nickless (UK), Harsch Gupta (India), Tom Beer (Ausztrália), Sospeter Muhongo (Tanzánia), Carlos Oiti Berbert (Brazília) – 2010. február elejéig javaslatokat dolgoz ki a Planet Earth Intézet terve lehetséges alternatíváiként. A cél ugyanis a Földév szellemiségének továbbvitele, és nem feltétlenül intézetalapítás. (Amit egyébként a programigazgató mellett elsősorban azok a fejlődő országok szorgalmazznak, ahol a földtudomány e hároméves ciklus alatt szerveződött meg.) Az IYPE 2010. június 30-ig létezik, a továbbvitelnek addig kell megtalálni a módját. Így ért véget a San Franciscóban a Földév.

A folytatás

Másnap, december 17-én azután újabb fordulat következett be. Kiderült, hogy a „Towards a Global Geoscience Initiative” AGU-rendezvényt („Town Hall Meeting”-et) a Földév nemzetközi tanácsának néhány tagja – többek között Edmund Niblett (UK) és Jack Hess (USA) – éppen a Földév tanulságainak továbbvitelére, a Planet Earth Institute egyik alternatívájának megalapozásaként szervezték. A három elhangzott előadás (Donald J. DePaolo, UC Berkeley: „Alapkérdések a Földről”; Mark Zoback, Stanford: „A CO₂-tárolás”; Marcia McNutt, az USGS igazgatója: „Óceánok”) egy bő háromnegyed óra alatt több információt nyújtott a résztvevőknek, mint a lisszaboni ülés összesen. Az este során lé-

nyegében kirajzolódott egy világszerte időszerű, új kezdeményezés, amely a legfontosabb alapkutatási területeket (főként globális kérdéseket) világos társadalmi–gazdasági összefüggésrendszerbe helyezi, és amely igényli a tudományos közösségek, kutatásfinanszírozók, kormányok és más intézmények támogatását szerte a világon. Az elképzelések szerint a még cseppfolyós kezdeményezés az UNESCO, illetve a nemzetközi földtudományi társaságok (IUGS, IUGG stb.) bevonásával, a Földévtől immár teljesen függetlenül valósulna meg. A részletek még sok tekintetben vitathatók, de azt már el lehet mondani, hogy a földtudománynak igenis van megnyugtató jövőképe.

Szarka László
a Földév nemzeti bizottság titkára

Alapkérdések a Földről

Egy amerikai akadémiai (NAS) bizottságnak – Don DePaolo elnöklétével – célja az volt, hogy megfogalmazza a földtudomány tíz legfontosabb alapkérdését olyan módon, hogy abból kirajzolódjanak a 21. század tennivalói. A négy csoportra bontható tíz kérdés a következő:

I. Eredet

1. Hogyan jött létre a Föld és a többi bolygó?
2. Mi történt a Föld első 500 millió évében?
3. Hogyan keletkezett az élet?

II. A Föld belseje

4. Hogyan működik a Föld belseje, és hogyan hat ez a felszínre?
5. Mi az oka a lemeztektonikának és a kontinensek létének a Földön?
6. A földi folyamatokat miként befolyásolják az anyagi tulajdonságok?

III. A lakható Föld

7. Mi okozza az éghajlatváltozást, és mennyire változhat az éghajlat?
8. Hogyan formálta az élet a Földet, és hogyan formálta a Föld az életet?

IV. Veszélyek és források

9. Lehet-e előre jelezni a földrengéseket, vulkánkitöréseket és következményeiket?

10. A fluidumáramlások és transzportok hogyan alakítják az emberi környezetet?

A tíz kérdés kissé részletesebb kifejtése a következő:

1. Hogyan alakultak ki a bolygók a csillagok körül? Mit üzennek a meteoritok a csillagrendszerbeli és a korai naprendszerbeli folyamatokról, a Föld kémiai összetételéről és kialakulásáról? A Hold valóban egy óriási becsapódás következménye-e?

2. Hogyan ment végbe a Föld jelenlegi arculatának kialakulása? Mikor és hogyan lett óceán, légkör, földmag? Mikortól van földkéreg?

3. Hogyan és mikor keletkezett az élet? Egyszer vagy többször? Mi az élet, és mi nem az? Van-e élet a Földön kívül?

4. Miként hűti a konvekció a Földet (köpenybeli oszlopszerű feláramlások, rétegzett konvekció, a földmag és a geodinamó evolúciója)? Melyek a kémiai következményei a köpenybeli konvekciónak (vulkanizmus, hidrotermális és földmag–köpeny folyamatok)?

5. Mikor és miért kezdődött a lemeztektonika? Hogyan alakulnak ki az új lemezhatárok? Hogyan és mikor jöttek létre a kontinensek? Milyen átalakulásokon mentek át? Mi a litoszféra alatti köpeny szerepe? Az éghajlat, a tektonika és az erózió hogyan formálja a tájat?

6. Milyen ásványokból áll a bolygók belseje? Milyen méretűek, tulajdonságúak és olvadáspontúak a kristályok? Mennyi víz és szén-dioxid van a Föld belsejében? Hogyan lépnek egymással kölcsönhatásba az ásványok és a víz (nanoskála és geokémia)?

Lehet-e előre jelezni nagy kiterjedésű, sokléptékű és igen lassú földbeli folyamatokat?

7. Milyen folyamatok vezérik az éghajlatváltozást? Miért olyan tartósan vendégszerető az éghajlat? Mi okozta a kivételesen meleg és hideg periódusokat? Mi triggereli a hirtelen éghajlatváltozást? Meghatározható-e a légköri CO₂ földtörténeti alakulása?

8. Hogyan hat az élet a geológiai folyamatokra? Mennyi időn keresztül segítette elő az élet a lakható földi környezet kialakulását? Hogyan befolyásolták az élő szervezetek a légkörben és az óceánban az oxigén keletkezését? Mi okozta a tömeges kihalásokat? Mi vezérli a földtörténeti léptékben a biológiai diverzitás alakulását?

9. Hol és miért keletkeznek földrengések? Hogyan viselkednek a vetők a földrengés előtt és alatt? Melyek a korlátai a földrengés-előrejelzésnek? Mi a földrengések és a tektonikai folyamatok viszonya?

10. Hogyan áramolnak a fluidumok a geológiai közegekben? Melyek a fluidum-kőzet kémiai és biológiai kölcsönhatásai, hőtani és mechanikai változásai? Melyek a többléptékű idő- és méretskálák hatásai a folyadék-kőzet rendszerekre? Mennyire jelezhető előre a folyadék-kőzet rendszerek viselkedése? Lehet-e a földfelszín úgy igazgatni, hogy fennmaradjanak az emberi populációk és ökoszisztémák?





The International Year of Planet Earth (IYPE)

Proclaimed by the United Nations for 2008 and established in 80 nations and regions,

Recognizes and congratulates

National Committee for IYPE in Hungary

For its overall best performance during the IYPE Triennium (2007-2009)

And for its major contribution to spread the 'Earth Science for Society' message in Hungary

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Larry Woodfork', is positioned above the printed name.

Prof. Larry Woodfork
Chair of the Board of Directors & Officers
International Year of Planet Earth Corp.

A 2009. ÉVI PRO GEOPHYSICA EMLÉKÉRMEK KIOSZTÁSA

Az ELGI Borbála napi ünnepe 2009. december 4-én volt. Ez a nap mindig izgalmasabb a többinél. Ez egy kicsit különleges nap, emelkedettebb, ünnepibb a hangulat, mint máskor. Különösen vonatkozik ez a kitüntetendőkre, akik – bár előzetes értesítést kapnak az Emlékérem odaítéléséről – mégis csak akkor hiszik el, amikor az már kezünkben van, amikor kezet ráz velük az ELGI igazgatója és Pályi András, az ELGA kuratóriumának elnöke.

Az ünnepség napirendjét a 2009. évi PRO GEOPHYSICA Emlékérmek kiosztása, az év folyamán nyugdíjba ment munkatársak búcsúztatása, az Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény múzeumi–pedagógiai termének megnyitása és az ezt követő fogadás alkotta.

A kitüntetések átadásának hangulatát több körülmény emelte. A díjazottak arcán elégedettség, boldog mosoly volt megfigyelhető bármilyen korosztályhoz tartoztak is, tudták, hogy több mint húsz évi kemény, eredményes munka megérdemelt elismerése a PRO GEOPHYSICA díj.

Tovább emelte az ünnepség hangulatát, hogy Németh Lajos festőművész kollégánk kiállítási képei az ELGI konferenciatermének falán üdvözölték mindazokat, akiknek tekintete odavetődött, hogy az ünnepség szünetében és az után is

gyönyörködjenek azok témájában és színvilágában. Ezek a szép tájképek változatosságukkal jól illeszkedtek a terem falán már régen ott lévő portrékhoz. Intézetünk eltávozott nagyjainak (Eötvös Lorándtól Ádám Oszkárig) arcképét Lajos barátunk úgy festette meg, hogy legtöbbjüket személyesen is ismerte, dolgozott velük, és fényképeik – amelyek alapján festett – az emlékezés valóságával elegyedve alkalmas modellt képeztek.

Az ünnepségre meghívtuk társintézményeink és kapcsolataink képviselőit, hogy együtt örüljenek velünk. Így a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH), Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Geofizikai és Űrtudományi Tanszéke, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke, a soproni Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet (GGKI) képviselőit, továbbá az MTA elnökét, az MTA X. osztályának elnökét és Budapest Zugló kerületének polgármesterét, valamint az Országos Műszaki és Közlekedési Múzeum vezetőit, ill. a Magyar Geofizikusok Egyesületét és barátainkat. Bár terminusegyeztetési nehézségek miatt nem minden említett intézmény képviseltette magát, mégis zsúfolásig megtelt az ELGI konferenciaterme.

A levezető elnök Pályi András kuratóriumi elnök, a kitüntetések átadója Fancsik Tamás igazgató volt. Ő búcsúztatta – a hagyományos 3 puttynos aszúval – a nyugdíjba vonult Kloska Károly kollégánkat is.

A múzeum (Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény) utolsó egységének, a múzeumi–pedagógiai szobának elkészülte és megnyitása kapcsán dr. Baráth István mondott rövid összefoglaló beszédet. A múzeumi–pedagógiai szobáról lapunk következő számában részletes tájékoztatást adunk.

Az ünnepség záró fejezeteként fogadás volt, amely közben és után a jelenlévők megtekintették az Eötvös Loránd Emlékgyűjteményt, különös tekintettel annak 3. egységére, a múzeumi–pedagógiai teremre.

Végeredményben nagyszerű szakmai találkozóznak bizonyult az összefogás, elmerengtünk múltunk emlékein, amelyek biztatást adtak a jövőre nézve is. Annyi hitet bizonyosan adtak, hogy érdemes gazdag és szép geofizikai szakmánkat művelni, múltunkat megbecsülni és ápolni.



Az ünnepség előtti hangulat



Az ünnepséget dr. Fancsik Tamás, az ELGI igazgatója nyitja meg (mellette Pályi András és dr. Baráth István)



A résztvevők egy csoportja (b. j.: Sággy György, dr. Halmai János, dr. Késmárky István, Takács Sándor, dr. Kordos László)



A 2009. évi Pro Geophysica díjasok (b. j.: Takács Sándor, Kónya Albert, dr. Nagy Attila, Imre Gábor, Mezey Mária, dr. Fancsik Tamás, igazgató, dr. Pleszkáts Tibor és Pályi András, kuratóriumi elnök)

A PRO GEOPHYSICA Emlékérmek 2009-ben – betűrendben – a következők kapták:

Imre Gábor

1967-ben született Pécsen. 1986-ban érettségizett, és még abban az évben megkezdte másfél éves sorkatonai szolgálatát. 1988-ban került az ELGI Paleomágneses Laboratóriumba, ahol azóta is dolgozik. Az első években főként a számítógépes programozás érdekelt, kisebb kiértékelő programok készítése mellett a laboratóriumban korábban készült online mérő és kiértékelő programrendszert fejlesztette tovább, hogy azt az operátor egyszerűbben használhassa. Érdeklődése a számítógépek iránt később sem változott, a programozás mellett a számítógépek és perifériák gondozása, karbantartása, a laboratórium belső hálózatának kiépítése is Imre Gábor nevéhez fűződik. Utóbbi azért különösen

fontos, mert a számítógépek hálózatba kapcsolása hatékony adatkezelést, -kiértékelést tett lehetővé.

Imre Gábor a paleomágneses kutatás többi munkafolyamatába is bekapcsolódott és a Paleomágneses Laboratóriumban töltött évek alatt nemcsak megtanulta a munkafolyamatokat, hanem sok területen tökéletesítette az eszközöket és a módszereket. Ezek közül a legfontosabbak a terepi mintavétellel kapcsolatos újításai (pl. kísérletei a fúrókoronák gyémántjának összetételével, alakjával és szemnagyságával, amely gránitok és hasonlóan kemény kőzetek mintázására alkalmassá tették a fúrókat, mintavevő tervezése lágy üledékekhez, a Curie-pont mérésére szolgáló berendezés hűtőrendszerének modernizálása), valamint az előadások és publikációk technikai kivitelezésével kapcsolatosak. Munkája nélkülözhetetlen a pályázatok és jelentések készítésében is.

Imre Gábor elsajátította a paleomágneses kutatások számára fontos földtani alapismereteket, és figyelemmel kíséri



A Gábor Dénes-díjjal kitüntetett Gili László (ELGI) az igazgató méltatását hallgatja (előtérben: dr. Bencze Géza, Jánváriné Kántor Ilona és László István)



Az utolsó háromputtonyos (dr. Fancsik Tamás és Kloska Károly, aki nyugdíjas lett)



A pohárköszöntő előtti pillanat (b. j.: Jávorkáné Valika, dr. Horn János, Hegybíró Zsuzsanna, dr. Fancsik Tamás és dr. Bodoky Tamás, aki méltatja Sédy Loránd és Baráth István kollégák szerepét a geofizikai műszergyűjtemény létrejöttében)

a paleomágneses kutatások nemzetközi trendjeit is. Az elmúlt 20 évben az ELGI Paleomágneses Laboratóriumának szinte minden hazai és nemzetközi projectjében részt vett, és kivívta az együttműködő partnerek osztatlan elismerését.

A PRO GEOPHYSICA kitüntetése a fenti munkák elismerését jelenti.

Kónya Albert

1943-ban született Kolozsváron. A budapesti II. Rákóczi Ferenc Gimnáziumban érettségizett.

Miután 1966-ban az Eötvös Loránd Tudományegyetemen megkapta geofizikusi diplomáját, az ELGI-ben kezdett dolgozni. Az első éveket a szeizmikus csoportnál, terepen töltötte. Először észlelő volt, majd kiértékelő, később pedig csoportvezető.

A hetvenes évek elejétől a központban dolgozott, és az ELGI-ben érvényes szokásoknak megfelelően neki is több

feladata volt. Az egyik alapfeladata a különböző kutatási témák (földtani alapkutatás, bauxit-, víz-, szén- és uránkutatás) koordinálása mint témafelelős és témacsoport-vezető.

A másik feladata volt külföldi munkák szerzése és végzése. Ennek keretében dolgozott Mongóliában, ahol vízkutatást folytattak, és Iránban, ahol mérnökgeofizikai méréseket végzett víztározó építése előtt. Mintegy 10 év alatt sok külföldi geofizikai mérésre készített ajánlatokat kollégáival.

A hosszas „tanulási” szakaszt siker koronázta. A nyolcvanas évek elején három szeizmikus mérési tendert nyert az ELGI Görögországban. Ezekre a mérésekre az ajánlatkészítést ő irányította, később a helyszínen is ő készítette elő a helyet a csoport megérkezése előtt. Részt vett a csoport munkájának irányításában és ő tartott a kapcsolatot a megbízó képviselőivel.

A következő siker egy ausztriai szeizmikus mérés elnyerése volt 1986-ban. Itt csodálatos környezetben együtt



A nullszaldós szovjet laktanyák kérdése (előadó: dr. Nemesi László, hallgatóság: dr. Ormos Tamás, Jánváriné Kántor Ilona, dr. Bencze Géza, dr. Drahos Dezső, Jávorkáné Valika)



Az Országos Műszaki és Közlekedési Múzeum képviselői az ünnepségen (dr. Bencze Géza és Bertáné dr. Varga Judit)

küzdött a csoport tagjaival, hogy az akkor már elavult analóg berendezésekkel megfelelő minőségű mérést készítsenek.

1990-ben a körülmények úgy adódtak, hogy elhagyta a geofizikai pályát. Egyéb érdekes területek megismerése után nagy öröme szolgált, hogy 1998-ban vissza tudott térni a szakmához. Ekkortól a MOL Rt. felszíni geofizikai csoportjánál dolgozott, ahol feladata volt szeizmikus mérések, mérési szerződések előkészítése és a mérések ellenőrzése a MOL különböző koncessziós területein. Ennek keretében 10 év alatt minőségi ellenőrként, vagyis 'supervisor'-ként dolgozott magyarországi, törökországi, szíriai, jemeni, pakisztáni, kazah és orosz szeizmikus olajkutató méréseknél.

2008 elejétől, nyugdíjba vonulásától mint magánvállalkozó rövidebb supervisor munkákat vállalt Oroszországban, Pakisztánban és Szlovéniában.

Sokat tett a magyar geofizika nemzetközi elismeréséért és megbecsüléséért. Ez a kitüntetés ezeknek a tevékenységeknek az elismerése.

Mezey Mária

1929-ben született Budapesten. Az Állami Erzsébet Nőiskolába járt gimnáziumba. Érettségi után a Pázmány Péter Tudományegyetemre iratkozott be, ahol 1951-ben nyelvtanári diplomát szerzett német–francia szakon. Friss diplomával a kezében nyelvtanárként nem tudott elhelyezkedni, mert az orosz nyelv kötelezővé tétele miatt a német és francia nyelv középiskolai oktatását megszüntették. Álláskeresés közben jutott tudomására, hogy a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet meghirdette első középkáderképző tanfolyamát, amelyre jelentkezett, és arra felvételt is nyert.

Az 1951. szeptember folyamán induló féléves tanfolyam elvégzése után 1952 tavaszától a Szeizmikus Osztály főként dunántúli terepi kutatócsoportjainál dolgozott kiértékelő–számolói munkakörben. 1958-ban kötött házasságot munkatársával, Polcz Ivánnal, aki akkor a Szeizmikus Osztályon terepi észlelői munkakört töltött be.

1961-től az osztály belső állományában tevékenykedett részben idegen nyelvű fordítói, részben szerkesztő–számolói munkakörben a Mituch Erzsébet által irányított földkéreg-kutató témában.

1974–1978 közötti időszakban Kubában volt családjával, ahol férje mint geofizikus szakértő több magyar geológus és bányamérnök társával dolgozott együtt a Központi Földtani Hivatal kiküldetésében a Bányászati Minisztérium kutatásokat irányító hivatalában.

Beiratkozott egy havannai nyelviskolába, és addigi nyelvtudása alapján gyorsan megtanulta a spanyol nyelvet. 1977-től a kubai Magyar Nagykövetség kérésére a Kubába kiutazó műszaki szakértő csoportok (televízió, rádió, világítástechnika) kísérőjeként tolmácsolt alkalmanként társadalmi munkában.

Hazatérésük után a dr. Posgay Károly által irányított Szeizmikus és Számítástechnikai Főosztályon a nemzetközi kapcsolatok ügyintézője lett. 1984-ben nyugdíjba ment, 2008 óta tizunokás nagymama.

Dr. Nagy Attila

1962. augusztus 3-án született Budapesten. Középiskolai tanulmányait 1981-ben a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnáziumban fejezte be. 1987-ben diplomázott az ELTE geofizikus szakán. Friss diplomával a zsebében került az ELGI Mélyfúrásgeofizikai Főosztály keretében működő Kútgeofizikai Metrológiai Bázisra. Feladatai közé tartozott a sorozatban gyártott nukleáris karotázsszondák mechanikai és minőségvizsgálata, hitelesítése, módszertani fejlesztés, valamint műszerek, szondák műszaki átadása a vevőknek. Részt vett a vizsgálatoknál alkalmazott statisztikai és hibaanalízis bevezetésében és továbbfejlesztésében, valamint a Metrológiai Bázis fejlesztéséhez kapcsolódva hitelesítő berendezések beüzemelésében. Irányításával készült az áramlásmérő szonda hitelesítő berendezése. 1992-től francia állami ösztöndíj elnyerése után a montpellier-i egyetemen



A múzeumi–pedagógiai szobában (b.j.: dr. Kordos László, dr. Polcz Iván, Kakas Kristóf, Szabó Zoltán, László István)

dolgozott. Kutatási területe a geokémia és a kapcsolódó analitikai módszerek kidolgozása finomítása volt. Ezen belül foglalkozott az ICP-MS (induktívan csatolt plazma-tömegspektrométer) módszerrel, majd egy innen indított közös francia–magyar kutatási projekt keretében a Zala–Kis-Balaton–Keszthelyi-öböl terület vízgeokémiai kutatásaival. Ugyanott, az utóbbi téma kidolgozásából doktori (PhD) fokozatot szerzett. Hazatérve, 1996-tól a Radiometriai és Elemanalitikai Laboratórium munkatársa, 2004-től vezetője. Eközben, az 1998–1999-es években, Líbiában műszaki ellenőrként vett részt vízkutató fúrásokban végzett karotázsmérések ellenőrzésében. A laboratóriumban szakterületi gamma-spektrometriai mérések, neutronaktivációs és röntgenfluoreszcens elemanalízis. Renner Jánossal kezdte el az egész országra kiterjedő alap radiometriai állapot felmérést, amelynek eredményeit több nemzetközi szakmai fórumon előadta, publikálta. Nevéhez fűződik a laboratóriumban a hiteles gamma-spektrometriai mérések feltételeinek megteremtése, a pontos mérési módszer kidolgozása.

Dr. Pleszkás Tibor

1942. október 4-én, Pápán született. Pápán érettségizett, majd 1960–1965 között a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen tanult és bányageológus mérnöki oklevelet szerzett.

Az egyetem befejezése után a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetbe került, amely az egyetlen hazai munkahelye volt.

1965 augusztusától az alföldi szeizmikus kutatási munkálatokban vett részt, 1971–73 között Mongóliában egy vízkutató expedícióban dolgozott. Azután a KGST tengerkutatási programmal (Intermergeo) foglalkozott. 1978–80 között ismét Mongóliában tevékenykedett a Nemzetközi ércutató expedíció magyar részlegének vezetőjeként.

1980-tól 1990 közepéig az ELGI Nemzetközi Kapcsolatok Osztályát vezette. Szervezte az ELGI geofizikai műszer-exportját a kelet-európai és szovjet piacokra. Feladata volt az ELGI Public Relation létrehozása, állandó megújítása, szinten tartása mind a magyar minisztériumokkal és tudományos intézetekkel, mind a KGST országok földtani–geofizikai szervezeteivel.

Sikeres munkát végzett kollégáival az 1985. évi EAEG Budapesti Kongresszusának és Műszerkiállításnak a szervezésében, lebonyolításában.

1980-ban egyetemi doktori címet nyert el a „Sékely szeizmikus mérések módszertana” c. dolgozattal a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen, majd 1988-ban a Külkereskedelmi Főiskolán nemzetközi marketing szaküzemgazdász képesítést szerzett. Angol, német és orosz nyelvi szakfordító.

1990-től Londonban (Holwood) dolgozott a Seismograph Service, Ltd. (SSL) szeizmikus kutató cégnél kelet-európai marketing manager beosztásban. 1993-ban az SSL-t bekebelezte a Schlumberger, így átkerült a Geco-Praklához, ahol Hannoverben, Londonban (Gatwick) és Moszkvában volt állandó kiküldetésben 1998. december 31-ig.

Első terepi munkája 1965-ben Abonyba, utolsó 1998-ban Nebit Dagba (Türkmenisztán) vezetett.

Nyugdíjasként tett „kiküldetései” a Himalája országai-ba vezettek, úm. Nepál, Tibet (Lhasza), Bhután, Ladakh és

Sikkim (India). Tibor sokat és eredményesen dolgozott a magyar geofizika nemzetközi elismeréséért.

Takács Sándor

1941-ben született Dunaföldváron. Középiskolába az újpesti Könyves Kálmán Gimnáziumba járt. Műszaki tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetemen kezdte 1965-ben, melyet betegség miatt félbe kellett szakítania, majd később a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Villamos Üzem-mérnöki Karán szerzett diplomát. 1971. január 1-jétől az ELGI munkatársa lett.

Mint ELGI-alkalmazott, első hat hónapját a Központi Fizikai Kutató Intézet Elektronikai Főosztályán töltötte, ahol részt vett az ELGI számára folyó digitális karotázsszállomás fejlesztésében. Miután az ELGI-ben a Karotázs Műszer Osztályon a Digitális Műszercsoport kialakult, a fejlesztőmunka az ELGI-be tevődött át.

Itt kezdetben feladata az A/D-konverter és az ahhoz kapcsolódó áramkörök tervezése és gyártása, valamint terepi próbái voltak.

Részt vett az NDK számára kooprodukcióban fejlesztett középkarotázs-állomás létrehozásában és az NDK-beli terepi mérésekben. Feladata a mélységmérés és a fotoregisztrálóhoz tartozó mélységkorrekciós áramkörök kialakítása volt.

Részt vett a Mecseki Ércbányák számára kialakított speciális uránkutató karotázs mérőkocsi kialakításában. Feladata – az ELGI-fejlesztésű spektrálszondákhoz kapcsolódó – az akkori technikai színvonal mellett igen nagy jelsűrűségűnek számító impulzusamplitúdó mérése és digitális rögzítése volt (terepi spektrumanalizátor).

Az 1970-es években az ELGI kiváló dolgozója lett. 1981-ben a Minisztertanács által adományozott Kiváló Munkáért állami kitüntetést kapta.

A 70-es évek végén és a 80-as évek elején észak-koreai megrendelésre készülő olajkutató karotázs műszerkocsi összeállítását vezette, majd Észak-Koreában terepen sikeresen átadta, és az ottani kezelőszemélyzetet betanította.

Később a felmerült igényeknek megfelelően kis átmérőjű (43 mm) szilárd hasznosásvány- és vízkutatásban alkalmazható akusztikus karotázsműszer fejlesztésbe kapcsolódott be, annak továbbfejlesztésével foglalkozott, és a digitális egységgel szemben támasztott újabb követelmények műszeres megvalósításában dolgozott. Ez a műszercsalád (MOLE) napjainkban is alkalmazásában van.

A 80-as évek második felében a Karotázs Rendszerek Osztályának vezetésével bízták meg. Ennek az osztálynak a feladata volt a Karotázs Műszer Osztályok által előállított szondák, felszíni egységek terepi műszerkocsikba való telepítése, terepi tesztelesek elvégzése, a hazai és külföldi terepi átadása, esetleges betanítása.

Munkaviszonya az ELGI-ben 1992-ben szűnt meg a műszerfejlesztés és a műszergyártás általános felszámolása kapcsán. Kapcsolata az ELGI-vel nem szűnt meg teljesen, mint kisvállalkozó néhány kisebb fejlesztési feladatot kapott az ELGI-től.

Sokoldalú tevékenysége miatt megérdemelten kapta meg a PRO GEOPHYSICA Emlékérmet.

Baráth István



In Memoriam:

DUDÁS JÓZSEF

1932–2009

Elment a Jóska. Már hosszú idő óta, bizonyos belenyugvással, de mégis egyfajta optimizmussal készült utolsó útjára. Legutóbbi találkozásunkkor, 2009. november 11-én az ELGI-nyugdíjasok összefojetelén már hiányzott belőle a mindig nosztalgias, derős emlékezés. A sokféle betegség meggyötörte, életkedve teljesen elhagyta. Éreztük, már nem sokat találkozunk vele. Hirtelen, 2009. december 12-én bekövetkezett halála összes kollégájában mégis megdöbbenést okozott. Szerettük őt.

1932. február 8-án született Szeghalmon. Elemi (mai nevén általános) iskoláit ugyanitt kezdte, Gyulán folytatta, majd a pécsi ciszterciták gimnáziumában tanult, azonban a szerzetesrendek és iskolák államosítása, megszüntetése után végül Gyulán érettségizett. Egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán végezte, ahol 1960-ban fizikus diplomát szerzett.

Első munkahelyén, az OKGT Szeizmikus Kutatási Üzemében terepi szeizmikus méréseken dolgozott a Dunántúl különböző területein.

Az ELGI Geoelektromos Osztályára 1964-ben került, ahol közel 30 éven keresztül aktív kutatómunkát végzett. Előbb a geoelektromos műszerfejlesztő részlegben, majd 1965–74 között három turnusban 2-2 éven keresztül a mongóliai vízkutató mérések egyik kutatója, estenként irányítója is volt.

Hazajövele után 1975–90 között a hazai vízkutatásban dolgozott. Kimagasló eredmények egész sora jelzi működé-

se eredményeit. Kiemelhetjük talán a Rába-terasz kutatását és különösképpen a Kisalföld regionális kutatási programjából a közepes mélységű összletek üledékföldtani elemzését. A hazai vízkutató munkákban általában meghatározó szerepe volt Dudás kollégának abban a kutatócsoportban, akik a hagyományos fajlagos ellenállásmérés (VESZ) mellett a gerjesztett (vagy indukált) polarizációs (GP) módszer együttes alkalmazását vezették be, aminek következtében nem várt sikereket értek el. Különösen nagyra értékelhetők a VESZ-GP adatok együttes értelmezéséből a szemcseméretre vonatkozó információk, amelyek alapján pl. a Kisalföld különböző mélységintervallumainak litológiai térképsorozatát tudták megszerkeszteni.

Jelentős szerepe volt a számítógépes feldolgozások és a digitális adatrögzítések bevezetésében és rutinszerű alkalmazásában.

Még nyugdíjasként is éveken keresztül dolgozott kisebb megbízási díjakért az ELGI geoelektromos méréseinek adatrögzítési munkáin.

A maga módján közéleti ember volt. Tagja volt a Geofizikusok Egyesületének, amelynek minden rendezvényén, nyugdíjas kirándulásain aktív résztvevő volt.

Csendes jó kollégától, barátunktól búcsúzunk.

Nyugodj békében!

Emlékező barátai nevében
Hobot József és Nemesi László

Rendezvéynaptár

2010. április		
2010. ápr. 8.	Eötvös Loránd sírjának hagyományos megkoszorúzása	Budapest, Kerepesi temető
2010. ápr. 11–14.	EGM 2010: nemzetközi konferencia a potenciálmódszerek fejlesztéséről <i>E-mail: egm2010@inogs.it</i>	Capri, Olaszország
2010. ápr. 21.	VI. Szent György-napi Bauxittalálkozó – megemlékezések a magyar bauxittörténet „kerek évfordulós” alakjairól	Budapest, MÁFI díszterem
2010. ápr. 22. (a Föld Napja)	Diáknapi a Geofizikai Intézetben – terepi bemutatók, versenyek, múzeumlátogatás http://www.elgi.hu	Budapest, ELGI és Újvidék tér
2010. ápr. 23.	A Magyar Geofizikusok Egyesületének évi rendes közgyűlése	Budapest, ELGI konferenciaterem
2010. május		
2010. május 2–7.	EGU European Geoscience Union közgyűlése http://meetings.copernicus.org/egu20100	Bécs, Ausztria
2010. május 11–14.	IX. Nemzetközi Geomatematikai Konferencia http://www.eage.org	Kiev, Ukrajna
2010. május 19.	„Új utak a földtudományban” előadás-sorozat: „Felszín alatti víz – tartalék egy szomszagos bolygónak”	Budapest, ELGI konferenciaterem
2010. május 20–22.	A Magyarhoni Földtani Társulat vándorgyűlése http://www.foldtan.hu	Tudományegyetem, Szeged
2010. május 25–29.	4. BALWOIS konferencia (vízkészletgazdálkodás) http://balwois.com	Ohrid, Macedónia
2010. június		
2010. június 7–11.	28th International Conference on Mathematical Geophysics. Modelling Earth Dynamics http://cmg2010.pi.ingv.it	Pisa, Olaszország
2010. június 14–17.	EAGE, 72. évi közgyűlés és műszerkiállítás http://www.eage.org	Barcelona, Spanyolország
2010. június 21–25.	GPR 2010 – 13. Nemzetközi Földradar Konferencia http://www.ibam.cnr.it/gpr2010/	Lecce, Olaszország
2010. augusztus		
2010. aug. 14–19.	HUNGEO 2010: magyar földtudományi szakemberek X. világtalálkozója http://www.foldtan.hu	Nyugat-magyar- országi Egyetem, Szombathely
2010. augusztus 29. – szeptember 2.	IAMG 2010 – The role of geomathematics in mineral exploration http://www.iamg2010-budapest.hu	ELTE Budapest
2010. szeptember		
2010. szept. 6–8.	NSGD: EAGE Near Surface 2010 http://www.eage.org	Zürich, Svájc
2010. szept. 19–22.	SPE Annual Technical Conference & Exhibition http://www.spe.org	Firenze, Olaszország
2010. szept. 23–26.	CBGA 2010: a kárpát-balkáni geológiai egyesületek XIX. kongresszusa http://www.cbga2010.org	Thessaloníki, Görögország
2010. október		
2010. okt. 17–22.	SEG 80. évi közgyűlés és kiállítás http://www.seg.org	Denver, USA

EAGE: European Association of Geoscientists and Engineers; IAMG: International Association for Mathematical Geosciences; NSGD: EAGE Near Surface Geoscience Division; SEG: Society of Exploration Geophysicists; SPE: Society of Petroleum Engineers

További részletek, referenciák a honlapról érhetők el (<http://www.mageof.hu>).

Kakas Kristóf